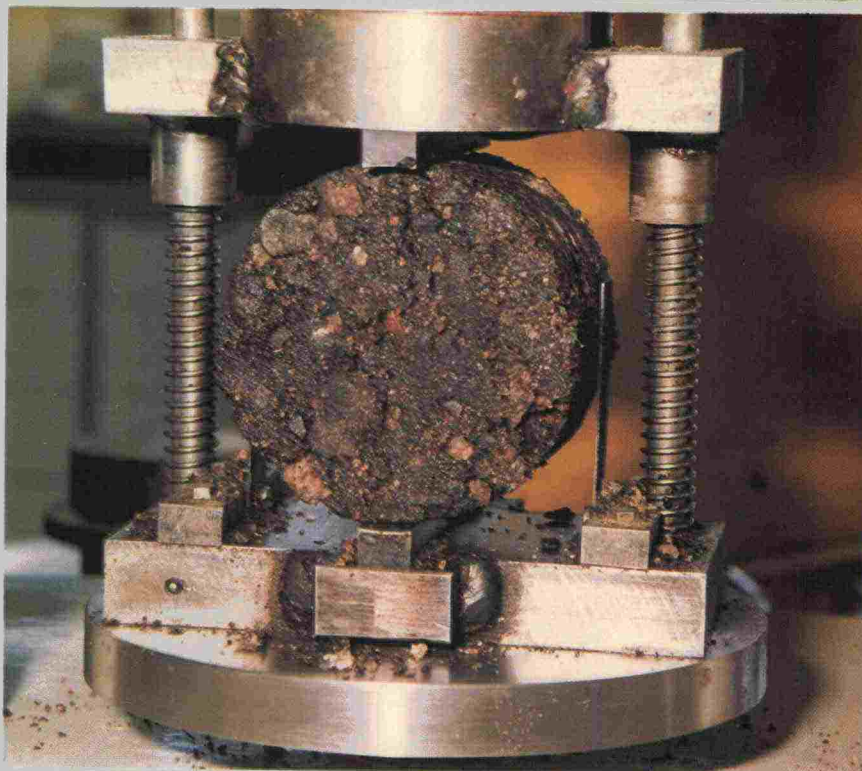




Tielaitos

Laura Apilo

Bitumiemulsiokoetiet 1992



Tielaitoksen
selvityksiä

64/1992

Helsinki 1992

Tiehallitus

NÄYTEKPL.

Tielaitoksen selvityksiä
64/1992

Laura Apilo

Bitumiemulsiokoetiet 1992

Tielaitos
Tiehallitus

Helsinki 1992

ISBN 951-47-6638-5
ISSN 0788-3722
TIEL 3200114

PAINATUSKESKUS OY, HELSINKI 1993

Julkaisua myy:
Tiehallitus, painotuotevarasto
Telefax (90) 1487 2698

Tielaitos
Tiehallitus
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Asiasanat: emulsiosora, bitumiemulsio

Tiivistelmä

Vähäliikenteiset tiet, joiden KVL on alle 1000 ajoneuvoa vuorokaudessa, päällystetään Suomessa yleensä öljysoralla. Öljysoran haittana on kuitenkin sen sisältämien liuottimien aiheuttama kuormitus ympäristölle. Ympäristöarvojen korostumisen myötä on herännyt tarve kehittää öljysoran kaltainen päällyste, joka ei sisällä ympäristölle vaarallisia aineita.

Emulsiosora on vaihtoehto silloin, kun halutaan valmistaa edullista päällystemassaa ilman liuottimia. Kun kuumapäällysteiden sideaine saadaan sekoitus- ja levitysvaiheessa notkeaksi lämmittämällä ja öljysoran sideaine liuottimia lisäämällä, käytetään emulsiosoran sideaineen bitumiemulsion viskositeetin alentamiseen vettä. Emulsiosora on öljysoran tapaan mahdollista sekoittaa kylmänä.

Tutkimuksen tavoitteena oli kahden ominaisuuksiltaan erilaisen emulsiopäällysteen kehittäminen. Toisen oli tarkoitus vastata mahdollisimman hyvin öljysoraa, ja toisen toivottiin KAB:n tapaan soveltuvan hieman vilkkaammin liikennöidyille teille. Tutkimuksissa käytettiin sideaineina kolmea erilaista bitumiemulsiota, joiden bitumipohjan viskositeetit poikkesivat toisistaan.

Tutkimuksia tehtiin sekä laboratoriossa että kentällä. Ennen koeteiden rakentamista selvitettiin laboratoriossa koetiekiviainesten humuspitoisuudet sekä tehtiin sekoitustutkimuksia ja määritettiin koemassojen suhteitukset. Laboratorikokeita jatkettiin vielä myöhemmin koetiemassojen stabiliteettitutkimuksilla.

Koetieohjelma oli laaja, koeteitä rakennettiin kuuteen tiepiiriin yhteensä noin 50 km. Kattavalla koeohjelmalla pyrittiin selvittämään eri muuttujien vaikutuksia emulsiopäällysteisiin sekä löytämään emulsiosoran käyttörajoja. Lisäksi kokeiltiin uutta emulgointilaitteistoa, joka mahdollistaa sideaineen emulgoinnin kentällä. Menetelmä säästää kustannuksia, kun vettä ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja.

Sekä laboratorion saadut tulokset että koetiekokemukset ovat rohkaisevia ja osoittavat, että emulsiosora on käyttökelpoinen kevytpäällystevaihtoehto.

Sisältö

| | |
|---|----|
| 1. Johdanto | 8 |
| 2. Esitutkimukset | 10 |
| 2.1 Tutkimusten tavoitteet | 10 |
| 2.2 Suhteitus | 10 |
| 2.3 Sekoitustutkimukset | 14 |
| 2.4 Vedenkestävyystutkimukset | 15 |
| 3. Koneet ja miesvahvuudet | 18 |
| 3.1 Öljysora-asema MX-45 E emulgointilaitteistolla ja kiviaineksen lämmitysjärjestelmällä | 18 |
| 3.2 Öljysora-asema MX-30 B kiviaineksen lämmitysjärjestelmällä | 19 |
| 3.3 Muut laitteet | 19 |
| 3.4 Miesvahvuudet | 19 |
| 4. Oulun tiepiirin emulsiokoetie: Lamminkangas - Oijärvi | 21 |
| 4.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet | 21 |
| 4.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot | 22 |
| 4.3 Koneet ja miestyövahvuudet | 22 |
| 4.4 Rakentamisen toteutus | 23 |
| 4.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset | 25 |
| 5. Lapin tiepiirin emulsiokoetie: Pekkala - Pirttikoski | 27 |
| 5.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet | 27 |
| 5.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot | 28 |
| 5.3 Koneet ja miestyövahvuudet | 29 |
| 5.4 Rakentamisen toteutus | 29 |
| 5.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset | 31 |

| | |
|--|----|
| 6. Kuopion tiepiirin emulsiokoetie: Neituri - Isoniitty | 33 |
| 6.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet | 33 |
| 6.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot | 35 |
| 6.3 Koneet ja miestyövahvuudet | 35 |
| 6.4 Rakentamisen toteutus | 35 |
| 6.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset | 37 |
| 7. Pohjois-Karjalan tiepiirin emulsiokoetie 1: Vuokon pt | 39 |
| 7.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet | 39 |
| 7.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot | 39 |
| 7.3 Koneet ja miestyövahvuudet | 40 |
| 7.4 Rakentamisen toteutus | 40 |
| 7.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset | 41 |
| 8. Pohjois-Karjalan tiepiirin emulsiokoetie 2: Ahmovaaran pt | 43 |
| 8.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet | 43 |
| 8.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot | 43 |
| 8.3 Koneet ja miestyövahvuudet | 44 |
| 8.4 Rakentamisen toteutus | 44 |
| 8.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset | 45 |
| 9. Kymen tiepiirin emulsiokoetie: Purola - Munapirtti | 47 |
| 9.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet | 47 |
| 9.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot | 48 |
| 9.3 Koneet ja miestyövahvuudet | 49 |
| 9.4 Rakentamisen toteutus | 50 |
| 9.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset | 52 |
| 10. Turun tiepiirin emulsiokoetie: Yläne - Virttaa | 56 |
| 10.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet | 56 |
| 10.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot | 58 |
| 10.3 Koneet ja miestyövahvuudet | 59 |
| 10.4 Rakentamisen toteutus | 59 |
| 10.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset | 60 |

| | |
|---|----|
| 11. Koemassojen stabiilitetitutkimukset | 62 |
| 12. Koe-emulsioiden tutkimustulokset | 65 |
| 13. Kustannusvertailu | 67 |
| 14. Jatkoseuranta | 69 |
| 15. Koetiekokemusten yhteenveto | 70 |

Liite 1: Emulsiosora-aseman toimintakaavio

1. Johdanto

Bitumiemulsioiden käyttöä päällystystekniikassa tutkittiin Suomessa laajemmin viimeksi 1980-luvun alussa. Vuosina -82 ja -83 tehtiin Vaasan, Hämeen ja Keski-Pohjanmaan tiepiireissä öljysoraa vastaavia päällystemassoja, joiden sideaineina oli bitumiemulsio. Turun tiepiirin emulsiokokeiluissa 1984 tutkittiin useampien emulsioiden soveltuvuutta erilaisiin käyttökohteisiin. Tutkimuksissa ilmeni useita ongelmia, eikä bitumiemulsioiden käyttö kevytpäällysteiden valmistuksessa yleistynyt 1980-luvulla.

Bitumiemulsiotutkimukset aloitettiin uudestaan keväällä -92. Tutkimuksen tarpeen aiheutti pyrkimys vähentää ympäristölle haitallisia bitumiöljyjen liuottimien hiilivety päästöjä siirtymällä käyttämään kevytpäällysteiden sideaineina bitumiemulsioita öljyjen sijasta. Suomi on sitoutunut vähentämään ilmakehään haihtuvia hiilivety päästöjä 30% vuoteen 1999 mennessä. Öljysoran sideaine BÖ 2 sisältää haihtuvia hiilivetyjä noin 10%.

Koeteitä rakennettiin eri puolelle Suomea kuuteen eri tiepiiriin. Emulsiokoeteiden yhteispituus on lähes 50 km ja niihin sekoitettujen massojen määrä 31 500 tonnia. Kokeilu on laajuudeltaan merkittävä, sillä emulsiomassoilla päällystettyjen osuuksien yhteispituus vastaa esim. ASTO:n kevytpäällyste-koeteiden kokonaispituutta. Tärkeimpinä muuttujina päällystyskohteissa olivat kiviaines, alusta ja ympäristöolot. Kymen tiepiiriin Pyhtäälle rakennettu emulsiokoetie tehtiin piirin omana työnä. Tälle koetielelle Neste Oy toimitti sideaineen valmiina. Muiden koeteiden urakoitsijana toimi Kalottikone Oy. Kokeiluissa käytettiin emulsiosora-asemaa, jonka yhteydessä ollut emulgointilaitteisto mahdollisti sideaineen valmistamisen kentällä emulgoimalla. Laajalla koetieohjelmalla pyrittiin selvittämään emulsiopäällysteiden käyttömahdollisuuksien rajoja ja löytämään kuhunkin kohteeseen parhaiten soveltuva päällyste.

Kokeilun suunnittelusta, toteutuksesta ja jatkoseurannasta vastaa työryhmä, jonka puheenjohtajana on dipl.ins. M. Reihe Tiehallituksesta ja jäseninä dipl.ins. J. Heikkilä ja ins. Toikkanen Tiehallituksesta, dipl.ins. K. Hurtig ja dipl.ins. C. Nyberg Neste Oy:stä, ins. R. Rämö ja rkm. U. Juujärvi Lapin tiepiiristä, ins. J. Karvonen ja rkm. H. Ahola Kalottikone Oy:stä sekä TTK:n tielaboratoriosta tekn.lis. J. Valtonen ja dipl.ins. L. Apilo.

Kokeilujen esitutkimuksista vastasivat Neste Oy ja TTK:n tielaboratorio. Neste Oy:ssä tehtiin sekoituskokeita kullekin kiviainekselle murtumisajan ja sitoutumisen tutkimiseksi ja sen avulla sideaineen oikean koostumuksen määrittämiseksi. TTK vastasi päällystemassojen suhteituksesta ja kiviainesten vedenkestävyysominaisuuksien tutkimisesta.

Tämän yhteenvetoraportin tarkoituksena on esitellä kokeiden toteutusta kentällä ja niihin liittyviä laboratoriotutkimustuloksia.

2. Esitutkimukset

2.1 Tutkimusten tavoitteet

Tutkimusten tavoitteeksi asetettiin kahden erilaisen emulsiopäällysteen kehittäminen. Toinen olisi öljysoran kaltaista joustavaa ja vanhanakin muokattavaa massaa. Siinä bitumipohjana käytetään suhteellisen pehmeää bitumia. Kun sideaine ei ole erityisen kovaa, on massa helpompi levittää ja tiivistää. ES-massojen sideaineena kokeiltiin emulsioita BE 1500...3000. ES soveltuu öljysoran tapaan parhaiten käytettäväksi vähäliikenteisillä teillä, joiden KVL < 1000 ajon/vrk. Alustan kantavuuden tulee olla vähintään 100 kN/m². Emulsiosora on yksinkertainen valmistaa myös kylmänä.

Toisena tutkimuskohteena on KAB:n tapainen emulsiomassa. ES:aan verrattuna siinä käytetään jäykempää bitumipohjaa. Massan korkeampi lujuus mahdollistaa sen käyttämisen myös hieman vilkkaammin liikennöidyillä teillä, joiden KVL on kuitenkin alle 2000 ajon/vrk.

Perinteisesti bitumiemulsio on valmistettu jalostamalla. Koeohjelmassa valmistettiin sideaine kentällä sekoitusaseman yhteydessä emulgoimalla Kallottikone Oy:n valmistamalla emulgointilaitteistolla.

Koeteiden rakentamista varten tutkimuksia tehtiin ennakoon laboratoriossa. Laboratoriotutkimukset tähtäsivät kunkin kohteen tarpeita mahdollisimman hyvin vastaavan massan suunnitteluun. Laaja koetieohjelma mahdollisti lukuisien muuttujien tutkimisen. Eri koeteillä muuttujina ovat olleet eri kiviaineksista johtuen kiviaineksen rakeisuuskäyrä, rakeiden pinta-ala ja mineraloginen koostumus, tartukepitoisuus, massan lämpötila sekä ilmasto-olot, alusrakenne, rakennusajan sääolot ja sekoitus- ja levityskalusto. Koeteiden kestoja ja mahdollista vaurioitumista on tarkoitus seurata tulevana vuosina sekä syksyisin että keväisin tehtävällä vaurioinventariolla.

2.2 Suhteitus

Sopivan sideainepitoisuuden määrittämiseksi tehtiin TTK:n tielaboratoriossa tilavuussuhdetietoihin perustuen suhteitustutkimuksia. Emulsiosoramassat suhteitettiin siten, että kiviaineksen tyhjätilan täyttöaste oli 40% öljysoran kaltaisilla massoilla (sideaineena BE 3000) ja 45% KAB:a korvaavilla massoilla (sideaineena BE 6000).

Suhteitusta varten valmistettiin eri sideainepitoisuuksilla 1300 g painoisia koekappaleita, joiden tilavuussuhdetiedot tunnettiin tarkasti. Kiviaines kuivattiin ja seulottiin aluksi lajitteisiin ja kunkin koekappaleen kiviaines-käyrä rakennettiin seulakohtaisista lajitteista murskausaikaista keskiarvo-käyrää vastaavaksi. Sideaine ja vesi punnittiin erikseen jokaiseen annokseen. Sideainepitoisuuksina käytettiin arvioitua ylä- ja alarajaa 3,3% ja 3,6%. Kiviaineksen vesipitoisuuksina oli 2% ja 3%.

Kun raaka-aineet koekappaletta varten olivat valmiina, sekoitettiin massa keittiösekoitteimella. Valmis massa kaadettiin tasaisesti lajittumista välttävän Marshall-muottiin, ja koekappale puristettiin hydraulisella puristimella. Puristusvoimana käytettiin 120 kN ja puristusaikana 60 s. Koekappaleen korkeus mitattiin mittakellojen avulla. Massalla täytetty muotti punnittiin ennen puristusta ja sen jälkeen puristuksen aikana kappaleesta poistuneen veden määrän selvittämiseksi.

Koekappaleiden tilavuus pystyttiin laskemaan, kun tunnettiin muotin halkaisija ja mittakellojen avulla määritetty kappaleen korkeus. Koska myös raaka-aineet ja niiden määrät olivat tarkoin tiedossa, saatiin lasketuksi seuraavat tilavuussuhdetiedot:

$$\text{Päällysteen tyhjätala-\%} = (1 - V_{\text{teor}}/V_{\text{mitattu}}) * 100$$

$$\begin{aligned} \text{Kiviaineksen tyhjätala-\%} &= \text{sideaineen tilavuusosuus kappaleesta (\%)} + \text{päällysteen tyhjätala-\%} \\ &= (V_{\text{sideaine}}/V_{\text{mitattu}}) * 100 + \text{päällysteen tyhjätala-\%} \end{aligned}$$

$$\text{Täyttöaste-\%} = (\text{sideaineen tilavuusosuus massasta (\%)} / \text{kiviaineksen tyhjätala-\%}) * 100$$

Tuoreen massan täyttöaste on lähes 100% ennen veden poistumista massasta. Vuoden ikäisen emulsiopäällysteen kosteuspitoisuudeksi mitattiin Harjavallan ASTO-koetieltä 0,53%. Täyttöastetta laskettaessa on kuitenkin otettu huomioon vain sideaineen täyttämä tila.

Koekappaleista laskettujen tilavuussuhdetietojen perusteella kullekin koetiekiviainekselle määritettiin toivotun täyttöasteen antava sideainepitoisuus. Suhteitustutkimuksissa kiviaineksille saadut tilavuussuhdetiedot ja niiden avulla määritetyt sideainepitoisuuksien ohjearvot ilmenevät taulukoista 1-8.

Taulukot 1-8. Tilavuussuhde- ja halkaisuvetolujuuskokeiden tulokset

1. Kalottikoneen urakoimien koeteiden kiviainekset

Lamminkangas

| sideainepit./ kiviaineksen kos- teus-% | kiviaineksen tyhjätila-% | täyttöaste-% | HVL (kN/m ²) 1 vrk + 5°C |
|--|-----------------------------|--------------|--|
| 3,6 / 3 | 18,2 | 45,0 | 152 |
| 3,3 / 3 | 18,5 | 40,3 | 110 |
| 3,6 / 2 | 17,8 | 46,2 | 119 |
| 3,3 / 2 | 19,2 | 38,1 | 94 |

Sideainepitoisuudeksi Lamminkankaan soramurskeelle päädyttiin suositteluun 3,35%.

Pirttikoski

| sideainepit./ kiviaineksen kos- teus-% | kiviaineksen tyhjätila-% | täyttöaste-% | HVL (kN/m ²) 1 vrk + 5°C |
|--|-----------------------------|--------------|--|
| 3,6 / 3 | 20,1 | 40,4 | 152 |
| 3,3 / 3 | 20,4 | 36,1 | 141 |
| 3,6 / 2 | 20,0 | 40,1 | 162 |
| 3,3 / 2 | 20,5 | 35,5 | 144 |

Sideainepitoisuudeksi Pirttikosken soramurskeelle päädyttiin suositteluun 3,55%.

Kotakangas

| sideainepit./ kiviaineksen kos- teus-% | kiviaineksen tyhjätila-% | täyttöaste-% | HVL (kN/m ²) 1 vrk + 5°C |
|--|-----------------------------|--------------|--|
| 3,6 / 3 | 20,7 | 40,0 | 96 |
| 3,3 / 3 | 20,5 | 37,0 | 98 |
| 3,6 / 2 | 20,7 | 39,4 | 98 |
| 3,3 / 2 | 20,7 | 36,1 | 98 |

Sideainepitoisuudeksi Kotakankaan soramurskeelle päädyttiin suositteluun 3,55%.

Sorveus

| sideainepit./ kiviaineksen kos- teus-% | kiviaineksen tyhjättila-% | täyttöaste-% | HVL (kN/m ²) 1 vrk + 5°C |
|--|------------------------------|--------------|--|
| 3,6 / 3 | 20,2 | 40,5 | 84 |
| 3,3 / 3 | 21,2 | 34,8 | 82 |

Sideainepitoisuudeksi Sorveuksen soramurskeelle päädyttiin suosittelemaan 3,50%.

Sieravaara

| sideainepit./ kiviaineksen kos- teus-% | kiviaineksen tyhjättila-% | täyttöaste-% | HVL (kN/m ²) 1 vrk + 5°C |
|--|------------------------------|--------------|--|
| 3,6 / 3 | 20,4 | 39,9 | 121 |
| 3,3 / 3 | 20,4 | 36,6 | 82 |

Sideainepitoisuudeksi Sieravaaran soramurskeelle päädyttiin suosittelemaan 3,60%.

Yläne

| sideainepit./ kiviaineksen kos- teus-% | kiviaineksen tyhjättila-% | täyttöaste-% | HVL (kN/m ²) 1 vrk + 5°C |
|--|------------------------------|--------------|--|
| 3,6 / 3 | 20,9 | 40,9 | 110 |
| 3,3 / 3 | 20,6 | 37,5 | 96 |

Sideainepitoisuudeksi Yläneen soramurskeelle päädyttiin suosittelemaan 3,50%.

2. Pyhtään koetien kiviainekset

Pyhtään kalliomurske

| sideainepit./ kiviaineksen kos- teus-% | kiviaineksen tyhjättila-% | täyttöaste-% | HVL (kN/m ²) 7 vrk + 5°C |
|--|------------------------------|--------------|--|
| 3,6 / 3 | 22,3 | 38,0 | 255 |
| 3,3 / 3 | 22,4 | 32,7 | 238 |
| 3,6 / 2 | 22,7 | 36,9 | 277 |
| 3,3 / 2 | 23,0 | 31,2 | 237 |

Halkaisuvetolujuudet määritettiin poikkeuksellisesti viikon ikäisistä kappaleista. Sideainepitoisuudeksi Pyhtään kalliomurskeelle päädyttiin suosittelemaan 3,60%.

Yllikkälän kalliomurske

| sideainepit./ kiviaineksen kos- teus-% | kiviaineksen tyhjätila-% | täyttöaste-% | HVL (kN/m ²) 1 vrk + 5°C |
|--|-----------------------------|--------------|--|
| 3,6 / 3 | 21,1 | 42,9 | 138 |
| 3,3 / 3 | 21,1 | 39,0 | 114 |
| 3,6 / 2 | 20,7 | 43,4 | 144 |
| 3,3 / 2 | 21,1 | 38,9 | 119 |

Sideainepitoisuudeksi Yllikkälän kalliomurskeelle päädyttiin suosittelemaan 3,40%.

Suhteitusta varten puristettujen koekappaleiden stabiliteettia tutkittiin määrittämällä niiden HVL +5 °C lämpötilassa 1 vrk tai 7 vrk ikäisinä. Emulsiomassojen alkustabiliteetti on korkea verrattuna päällystemassoihin, joiden sideaineina on bitumiöljy. Mitatut halkaisuvetolujuudet on esitetty taulukoissa 1-8.

Saatujen halkaisuvetolujuusarvojen perusteella havaitaan, että optimaalinen kiviaineksen kosteuspitoisuus on toisilla kiviaineksilla sijainnut lähempänä kiviaineksen kahden ja toisilla kolmen prosentin kosteuspitoisuutta. Sopivin kiviaineksen kosteuspitoisuus on kiviaineskohtainen ja siihen vaikuttavat ainakin käytetyn kiviaineksen rakeisuus ja rakeiden muoto. Sideaineen sekoittumisen kannalta on tärkeää, että kiviaines ei ole aivan kuivaa. Kosteusalue 2...3% osoittautui kaikille kiviaineksille sopivaksi, ja kiviaineksen vesipitoisuuden alarajaksi suositellaankin 2%.

2.3 Sekoitustutkimukset

Pelkän bitumiemulsion tai emulsiomassan ominaisuuksien tunteminen ei riitä, vaan tulee tuntea bitumiemulsion ja kiviaineksen yhteistoiminta. Tämä on tärkeää erityisesti emulsion murtumisen ymmärtämisen ja hallitsemisen kannalta. Emulsion murtumisella tarkoitetaan dispersion hajoamista, jossa vesi- ja bitumifaasit erkanevat toisistaan. Murtumisnopeuteen vaikuttavat emulgaattorin koostumus ja määrä, kiviaineksen pintavaraus ja pinta-ala sekä lämpötila ja muut ilmasto-olot. Murtumisaika pyritään säätämään siten, että murtuminen ehtisi alkaa ennen massan tiivistämistä tielle.

Sekoitustutkimuksista vastasi Neste Oy. Yksinkertaisella käsisekoituskokeella pyrittiin karkeasti arvioimaan murtumista kullakin koetiekiviainekselä.

Taulukossa 9 on esitetty sekoitustutkimuksien mittaustuloksia ja silmämääräisiä havaintoja. Kaikissa sekoituskokeissa käytettiin sideaineena laboratoriossa valmistettua BE 3000-emulsiota. MYR-arvot määritettiin tuoreesta ja murtuneesta massasta.

Taulukko 9. Sekoituskokeiden tulokset

| Kiviaines | Side- ainepit. (p-%) | Vesipit. (p-%)) | Kiviaineksen lämpöt. (°C) | Side- aineen lämpöt. (°C) | Sekoi- tus-ta- pa | Sitou- tumi- nen | MYR- arvo (g) |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| Lammin- kangas | 3,5 | 5,2 | 22 | 22 | kä- sisek. | huono | ei määr. |
| Pirtti- koski | 3,5 | 5,2 | 22 | 22 | kä- sisek. | hyvä) | ei määr. |
| Kotakan- gas | 3,5 | 6,0 | 60 | 80 | pie- nois- sek. | keskin- kert. | 1,5 |
| Sorveus | 3,5 | 6,0 | 60 | 80 | pie- nois- sek. | hyvä | 0,2 |
| Siera- vaara | 3,5 | 6,0 | 60 | 80 | pie- nois- sek. | hyvä | 0,5 |
| Yläne | 3,5 | 6,0 | 60) | 80 | pie- nois- sek. | huono) | 1,8 |
| Pyhtää | 3,5 | 5,2 | 22 | 22 | kä- sisek. | huono | ei määr. |

*) sisältää myös emulsioveden

**) murtui nopeasti (10...15 s)

***) jaettu kiviaines (0-12 mm ja > 12 mm), emulsio lisätty karkeaan kiviainekseen

****) harmaa ja eloton ulkonäkö

2.4 Vedenkestävyystutkimukset

Tutkimusten tarkoituksena oli selvittää öljysoralla käytettyjen vedenkestävyyskokeiden soveltuvuus emulsiomassoille. Kenttäkokeeksi oli vaihtoehtoina ämpärikoe ja MYR-koe. Kentällä käytettävän vedenkestävyyskokeen valitsemiseksi laboratoriossa vertailtiin keskenään märkasekoituskoetta,

MYR-koetta ja ämpärikoetta. Öljysorakokeista poiketen massojen annettiin ennen kokeiden tekemistä murtua ja vapautuneen veden poistua massoista. Massat olivat kokeita tehtäessä tunnin ikäisiä.

Taulukko 10. Vedenkestävyyskokeiden tulokset

MÄRKÄSEKOITUSKOE MYR-KOE

| Märkäsekoitusaika Kivia./sideaine | 0 min | 5 min | 30 min | 60 min | tarttu- vuusarvo (g) |
|--------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------------------------|
| Lamminkangas/ BE 3000 | 91 | 94 | 79 | 68 | 2,9 |
| Lamminkangas/ BÖ 2 | 95 | 90 | 79 | 70 | 2,1 |
| Pirttikoski/ BE 3000 | 95 | 99 | 93 | 85 | 0,2 |
| Pirttikoski/ BÖ 2 | 92 | 96 | 84 | 78 | 0,5 |
| Kotakangas/ BE 3000 | 97 | 100 | 84 | 80 | 1,0 |
| Kotakangas/ BÖ 2 | 99 | 98 | 95 | 92 | 0,4 |
| Sorveus/ BE 3000 | 90 | 94 | 80 | 75 | 1,9 |
| Sorveus/ BÖ 2 | 99 | 92 | 87 | 87 | 1,1 |
| Sieravaara/ BE 3000 | 92 | 94 | 85 | 75 | 1,8 |
| Sieravaara/ BÖ 2 | 96 | 98 | 90 | 83 | 1,2 |
| Yläne/ BE 6000 | 98 | 100 | 96 | 90 | 0,8 |
| Yläne/ BÖ 2 | 97 | 93 | 87 | 82 | 0,6 |
| Pyhtää/ BE 3000 | 100 | 98 | 92 | 86 | 1,0 |
| Pyhtää/ BÖ 2 | 98 | 100 | 96 | 94 | 0,9 |
| Ylikkälä/ BE 3000 | 100 | 100 | 96 | 91 | 1,2 |
| Ylikkälä/ BÖ 2 | 98 | 100 | 96 | 89 | 1,4 |

Ämpärikokeella ei eri kiviaineksista valmistettujen emulsiomassojen välille saatu suuriakaan eroja. Kaikissa kokeissa vesi sameni sekoitettaessa ja kirkastui vähitellen, kun massaa ei hämmennetty. Samenemisen voimakkuudessa ei ollut selviä eroja. Tästä syystä ämpärikoetta ei suositeltu käytettäväksi kentällä. Ämpärikoetta selvempiä tuloksia saatiin MYR-kokeella. Sillä saadut tulokset korreloivat hyvin märkäsekoituskoeksessa saatujen tulosten kanssa. Märkäsekoituskoeksien eri ikäisten näytteiden peittoasteprosentit ja MYR-kokeissa saadut tarttuvuusarvot on esitetty taulukossa 10.

Koetiekiviaineksista heikoimmaksi osoittautui sekä märkäsekoitus- että MYR-kokeessa Lamminkankaan soramurske. Jotta kiviaines voidaan hyväksyä emulsiosoran kiviainekseksi, tulisi märkäsekoituskokeen 60 minuutin ikäisen näytteen peittoasteen olla vähintään 70% ja MYR-kokeen tarttuvuusarvon enintään 2 grammaa.

3. Koneet ja miesvahvuudet

3.1 Öljysora-asema MX-45 E emulgointilaitteistolla ja kiviaineksen lämmitysjärjestelmällä

Sekoitusasemana kaikissa koetyökohteissa Kymen tiepiiriä lukuun ottamatta käytettiin Kalottikone Oy:n valmistamaa emulsiosora-asemaa MX-45 E, jonka yhteydessä bitumiemulsio valmistettiin Neste Oy:n toimittamasta bitumista emulgoimalla. Sekoittimen annoskoko on 4500 kg ja kapasiteetti öljysoraa sekoittaessa 350 t/h. Kun valmistetaan emulsiomassaa, jonka sideaine emulgoidaan kentällä, on laitteiston kapasiteetti 100...130 t/h. Koneaseman yhteydessä on lisäksi Turbo-kiviaineksenlämmitysjärjestelmä, joka mahdollistaa massan valmistuksen n. +40...70 °C lämpötilassa ilman merkittävää kapasiteetin laskua.

Kiviaineksen syöttö tapahtuu kahdesta siilosta, mikä mahdollistaa jaetun kiviaineksen käyttämisen. Asema toimii annosperiaatteella. Märkäsekoitus-aikana käytettiin 25 sekuntia. Yhden 4500 kg annoksen sekoittamiseen kului aikaa n. 110 sekuntia.

Päällysteen onnistumisen kannalta emulsion murtumisajalla on keskeinen merkitys. Murtuminen alkoi jo sekoittimessa ja jatkui kuljetus- ja levitysvaiheissa. Massan sekoituksen aikana muutettiin seuraavia massan laatuun vaikuttavia seikkoja:

- sekoituslämpötila
- tartukepitoisuus
- sideainepitoisuus
- märkäsekoitusaika

Sideaineen valmistus tapahtuu sekoitusaseman yhteydessä. Bitumi ja vesi tuodaan kentälle erikseen ja bitumi emulgoidaan vasta juuri ennen käyttöä. Emulgoitaessa bitumiin lisätään diamiinia emulgaattoriksi. Suolahapon avulla saadaan emulsion happamuus säädettyä halutulle tasolle. Emulsiosora-aseman MX-45 E toimintaperiaate selviää liitteen 1 kuvasta.

Emulsion valmistaminen kentällä säästää kuljetuskustannuksissa. Lisäksi se poistaa emulsioita varastoitaessa syntyvän laskeuman aiheuttamat ongelmat. Menetelmä on joustava ja työkohteen vaatimukset voidaan ottaa hyvin huomioon. Emulsion koostumusta ja viskositeettia on mahdollista säätää kentällä diamiini- ja suolahappopitoisuuksia muuttamalla mahdollisimman hyvin käytettävälle kiviainekselle sopivaksi.

3.2 Öljysora-asema MX-30 B kiviaineksen lämmitysjärjestelmällä

Kymen tiepiiriin Pyhtäälle rakennettu emulsiokoetie toteutettiin piirin omana työnä. Sekoitusasemana käytettiin öljysora-asemaa MX-30 B, johon myös oli liitetty kiviaineksen lämmitysjärjestelmä. Edellä kuvatun sekoittimen tapaan myös MX-30-asema toimii annosperiaatteella. Sen kylmäsyöttölaite on jaettavissa erillisiin silloihin, jos halutaan käyttää jaettua kiviainesta. Sekoittimen annoskoko on 3000 kg ja kapasiteetti 270 t/h.

Neste Oy toimitti bitumiemulsion valmiina työmaalle. Massan valmistus kentällä vastasi näin ollen öljysoran sekoitusta.

3.3 Muut laitteet

Kohteissa, joissa Kalottikone Oy toimi urakoitsijana, vastasi Savatie Oy massan levityksestä ja tiivistyksestä. Pyhtään koetietä lukuunottamatta kaikissa kohteissa käytettiin seuraavaa kalustoa.

| | |
|------------|---|
| Levitin: | Barber Greene, pyörälevittäjä, paino 14,5 t, vuosimalli 1983 |
| Jyrät: | 1 kpl Aveling 3-valssijyrä, paino 10 t 1 kpl Hamm, paino 6 t |
| Kuormaaja: | Volvo 4400 pyöräkuormaaja, vuosimalli 1984 |

3.4 Miesvahvuudet

Myös miesvahvuudet olivat samoja kaikissa Kalottikone Oy:n urakoimissa kohteissa.

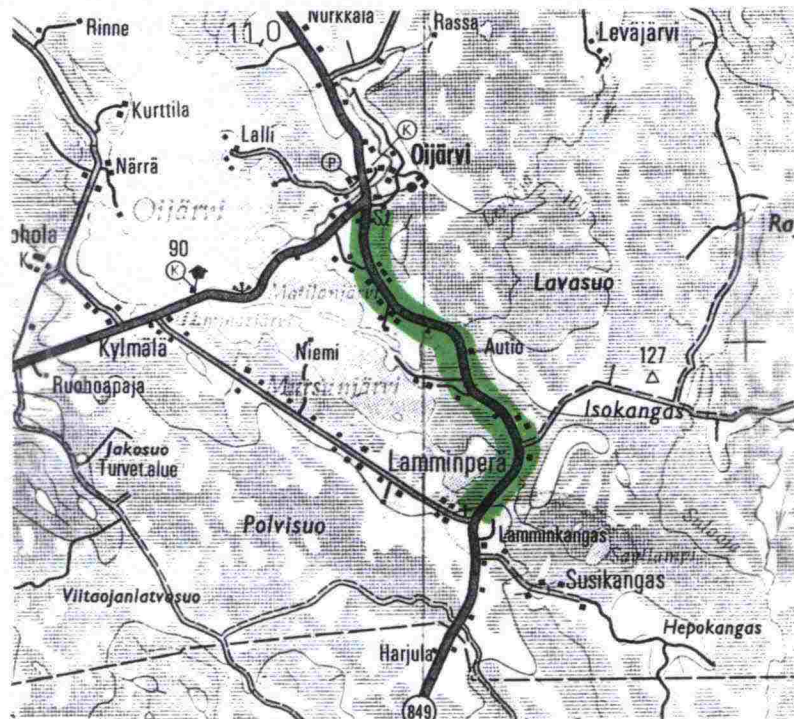
| | | |
|----------------|------------------------|---|
| Sekoitusasema: | Konemiehiä | 2 |
| | Kuormaajan kuljettajia | 1 |
| | Työnjohtaja | 1 |

| | | |
|-------------|-----------------------|---|
| Levityspää: | Levittimen kuljettaja | 1 |
| | Kolamies | 1 |
| | Lapiomies | 1 |
| | Jyrän kuljettajia | 2 |
| | Liikenteenohjaaja | 1 |
| | Perämies | 1 |

4. Oulun tiepiirin emulsiokoetie: Lamminkangas - Oijärvi

4.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet

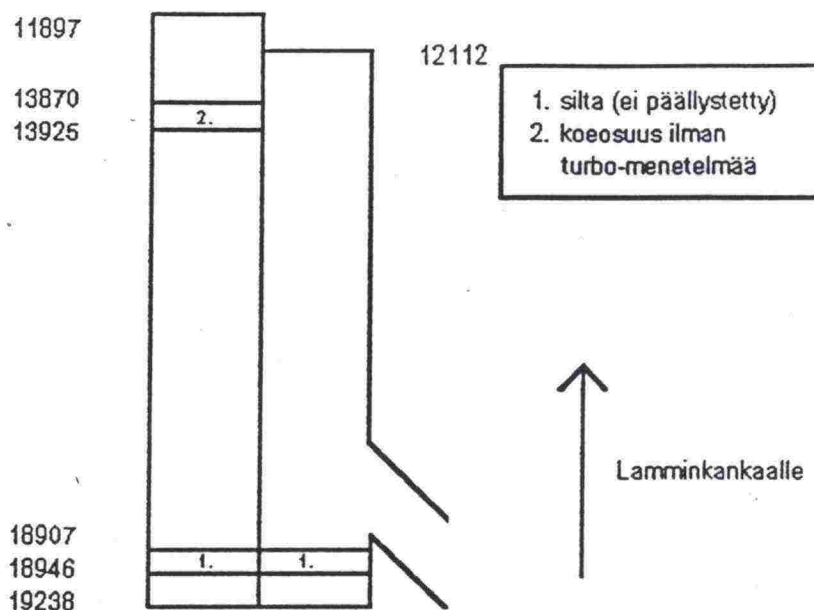
Ensimmäinen kesän -92 emulsiokoetie rakennettiin 27.7.-30.7.1992 Oulun läänin Kuivaniemen kuntaan. Kokeiluväli sijaitsi maantiellä 849 välillä Lamminkangas-Oijärvi. Tieosuuden KVL on 180 ajoneuvoa/vrk. Koepaikalla on 80 km/h nopeusrajoitus. Koetien pituus on n. 7,3 km, ja sen sijainti Oijärvellä näkyy kuvasta 1.



Kuva 1. Koetien sijainti Oijärvellä

Koska Oulun tiepiiriin rakennettu koetie oli ensimmäinen kokeilukohde, ei kohteessa yritettykään rakentaa erilaisia koeosuuksia. Työssä keskityttiin uuden emulgointilaitteiston koekäyttöön. Päälysteessä käytetty kiviaines lämmitettiin turbomenetelmällä n. +50 °C lämpötilaan. Vain hyvin lyhyellä 55 m osuudella kokeiltiin kylmää emulsiosoraa. Koeosuuksien sijainti ilmenee kuvan 2 kaaviosta.

Päälysteen leveys koetiellä oli 5,50 m, ja massaa levitettiin 100 kg/m².



Kuva 2. Koeosuuksien sijaintikaavio

4.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot

Kiviaineksena käytettiin Lamminkankaan soramursketta, jonka rakeisuus oli 0...16 mm. Kiviaineksen kiintotiheys on 2,61 g/cm³. Kiviaines oli murskattu 1990. Oulun tiepiirin tekemien humuspitoisuustutkimusten mukaan murskeen humuspitoisuusluokka oli 3. Myös vedenkestävyyskokeissa kiviaines oli osoittautunut huonoksi. Lamminkankaan soramurskeen rakeisuuskäyrä on esitetty kenttälaboratorion tutkimustulosten yhteydessä kappaleessa 4.5.

Sideaineena oli Neste Oy:n koebitumista B-3000 kentällä emulgoitu bitumiemulsio BE 3000. Sideaineen tutkimustulokset ilmenevät luvusta 12. Lamminkankaan soramurskeen suhteitustulokset ilmenevät luvussa 2 esitetystä taulukosta 1.

4.3 Koneet ja miestyövahvuudet

Urakoitsijana toimi Kalottikone Oy, joka vastasi sideaineen emulgoinnista ja massan sekoituksesta. Savatie Oy huolehti massan levityksestä ja tiivistyksestä. Käytetyt koneet ja miesvahvuudet ilmenevät luvusta 3.

4.4 Rakentamisen toteutus

Koeosuuksien alusta oli sitomaton. Alustan pohjatyöt teki tielaitoksen Oulun tiepiiri.

Koska Oulun tiepiirin emulsiokoetie oli ensimmäinen koekohde, ei emulgointilaitteistosta ollut vielä käyttökokemuksia työhön ryhdyttäessä. Koneaseman käyttöönotossa ilmenneet häiriöt lykkäsivät kokeilun alkamisajankohtaa suunnitellusta 22.7.92. Kiviaineksen loppumisen vuoksi osa päällysteestä tehtiin kasalta levitetystä öljysorasta.

Ensimmäinen koemassa päästiin levittämään tielle maanantaina 27.7.1992. Lämpötila vaihteli 17...22 °C välillä ja sää oli suurimman osan päivästä puolipilvinen. Oikean kaistan paaluväli 18907-18673 jouduttiin kuitenkin levittämään vesisateessa. Koneasema oli käynnissä 7.00-16.50 välisen ajan ja sen teho oli 120 tonnia tunnissa. Levitystyöt aloitettiin Oijärven päästä vasemmanpuoleiselta kaistalta, ja ne kestivät ensimmäisenä varsinaisena koepäivänä 7.30-17.45. Alkuvaikeuksien jälkeen koneasemasta johtuvia taukoja ei ollut lainkaan.

Tiistaina 28.7. sää oli edellisen päivän kaltainen, mutta vesisateelta vältyttiin. Asema oli käynnissä 6.30-21.30 ja levitystöitä tehtiin 7.00-21.00.

Kolmantena koepäivänä koneasema oli toiminnassa 11.15-21.30. Sateinen sää esti töiden aloittamisen aikaisemmin. Iltapäivällä sade kuitenkin taukosi. Päivän lämpötilat vaihtelivat 8...18 °C välillä. Pyöräkuormaajan rikkoutumisen takia koneasemalla oli tunnin mittainen seisokki. Massaa levitettiin 12.15-22.00. Kolmena ensimmäisenä koepäivänä tehtiin ainoastaan lämmintä emulsiosoraa, jonka sideaineena oli BE 3000. Massan lämpötila oli n. 47 °C.

Viimeisenä koepäivänä sää oli pilvinen, mutta ei kuitenkaan sateinen. Asema oli käynnissä 6.30-15.20 ja sen teho oli 135 t/h. Levitystöitä tehtiin 7.00-16.00 välinen aika. Paaluvälillä 13925-13870 kokeiltiin kylmänä sekoitettua emulsiomassaa. Kylmää emulsiomassaa tehtiin 16 tonnia 1,3% tartukepitoisuudella. Lisäksi levitettiin 24.7. varastoon tehty 9 t, joka levitettiin oikeanpuoleiselle kaistalle paalun 12760 kohdalle. Emulsiopäällysteen jatkoksi Lamminkankaan päähän levitettiin kahden vuoden ikäistä öljysoraa oikeanpuoleiselle kaistalle paaluvälille 11897-11032 ja vasemmanpuoleiselle kaistalle paaluvälille 12112-11032.

Työn eteneminen käy ilmi taulukosta 11. Yhteensä emulsiosoraa valmistettiin Lamminkankaalla 4112 tonnia ja päällystettyä tietä syntyi 41012 m².

Taulukko 11. Päälystystöiden eteneminen Lamminkankaan emulsiokoetiellä

| pvm | PLV | pinta-ala (m ²) | massa (t) | menekki (kg/m ²) | teho t/h |
|-------|--|--------------------------------|-----------|---------------------------------|----------|
| 27.7. | VAS 19238-18946 OIK 19238-18946 VAS 18907-17933 OIK 18907-18673 | 6370 | 640 | 100,47 | 120 |
| 28.7. | OIK 18673-15762 VAS 17933-15738 | 14041 | 1408 | 100,28 | 224 |
| 29.7. | OIK 15762-13925 VAS 15738-13917 | 10060 | 1008 | 100,20 | 124 |
| 30.7. | OIK 13925-11897 VAS 13917-12112 OIK 11897-11032 ÖS VAS 12112-11032 ÖS | 10541 | 1056 | 100,18 | 135 |

Koneaseman kokonaistyöaika oli 42,9 tuntia. Keskeytyksiä oli yhteensä 10,4 tuntia, eli 24,2% työajasta. Urakoitsijasta aiheutuneiden keskeytysten osuus oli 23,0% eli 9,9 tuntia. Koneaseman keskimääräinen sekoitusteho oli 95,8 t/h.

Etäisyys Lamminkankaan sekoitusasemalta oli levityspaikalle pisimmilläänkin vain 8 km. Ajomatka ei aiheuttanut ongelmia massan tasaiselle saatavuudelle.

Lamminkankaalla sekoitettu emulsiomassa oli silmämääräisesti tarkasteltuna homogeenista, eikä lajittumia esiintynyt valmiissa päälysteessä. Ulkonäöltään lämpimänä sekoitetusta massasta tehty päälyste vastasi pari vuotta vanhaa öljysorapäälystettä. Kylmänä tehty koeosuus jäi huomattavasti vaaleammaksi. Päälysteen pinnalle valui massa-autojen lavoilta paikoitellen runsaastikin vettä. Päälystemassa oli kiviaineksen korkeasta vesipitoisuudesta johtuen hyvin märkää.

Päälystemassa tiivistettiin valssijyrällä. Jyrän ylityskertojen lukumäärä oli 6-7. Päälysteen pinta oli kiinteä eikä siitä irronnut kiviainesrakeita.

4.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset

Kenttälaboratoriossa tutkittiin sekä tieltä että asemalta otettuja massanäytteitä. Lisäksi määritettiin murskekasasta kiviaineksen kosteuspitoisuus.

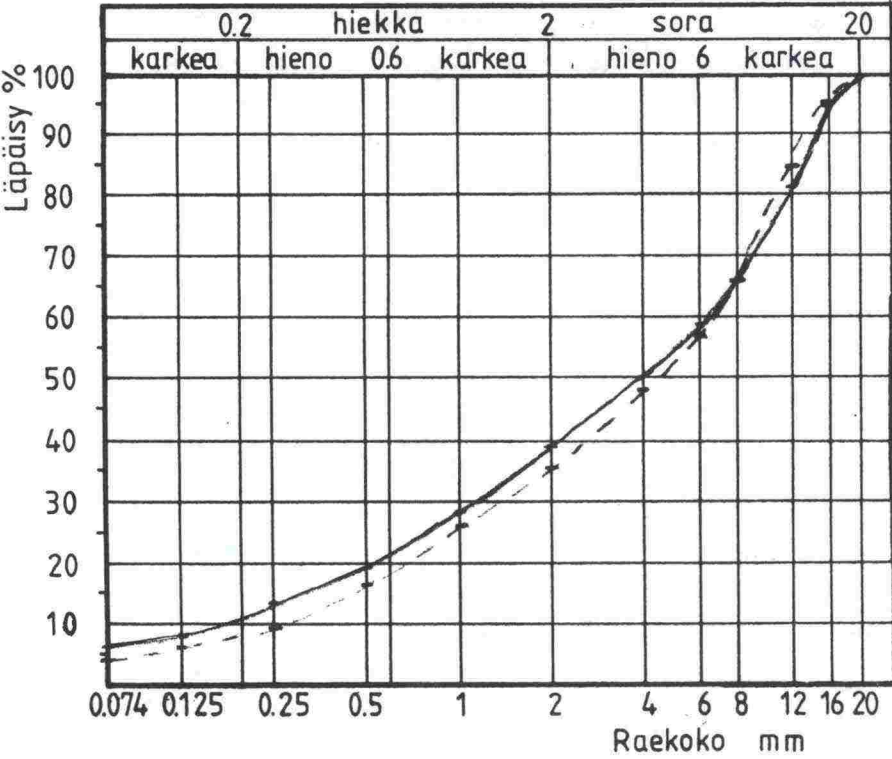
Murskekasasta otettujen kiviainenäytteiden perusteella soramurskeen kosteuspitoisuus oli 3,2%.

Kenttälaboratoriossa tutkittiin yhteensä 12 tieltä ja 7 koneasemalta otettua massanäytettä. Näiden tulosten perusteella koemassojen ominaisuudet olivat keskimäärin seuraavat:

| | Tie | Asema |
|-------------------------------|-------|-------|
| Sideainepitoisuus: | 3,39% | 3,45% |
| Sideainepitoisuuden ohjearvo: | 3,35% | 3,35% |
| Vesipitoisuus: | 5,03% | 5,84% |

| Rakeisuuskäyrät: | murskausaikainen | toteutunut |
|------------------|------------------|------------|
| 0,074 | 4,5 | 6,6 |
| 0,125 | 6,2 | 8,4 |
| 0,25 | 9,9 | 12,8 |
| 0,5 | 16,4 | 19,5 |
| 1 | 25,8 | 28,8 |
| 2 | 35,8 | 39,1 |
| 4 | 47,8 | 49,8 |
| 6 | 57,0 | 58,8 |
| 8 | 66,0 | 66,0 |
| 12 | 84,0 | 80,8 |
| 16 | 95,0 | 95,1 |
| 20 | 100,0 | 100,0 |

Rakeisuuskäyrät:



massan rakeisuus: —————
murskausaikainen rakeisuus: - - - - -

5. Lapin tiepiirin emulsiokoetie: Pekkala - Pirttikoski

5.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet

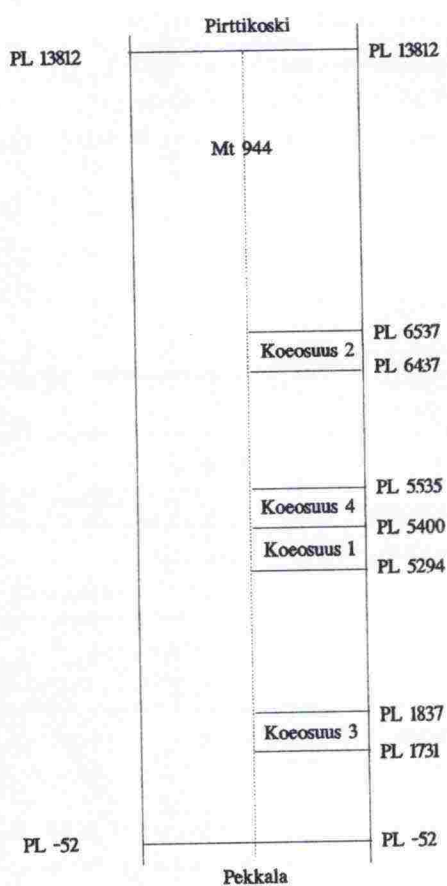
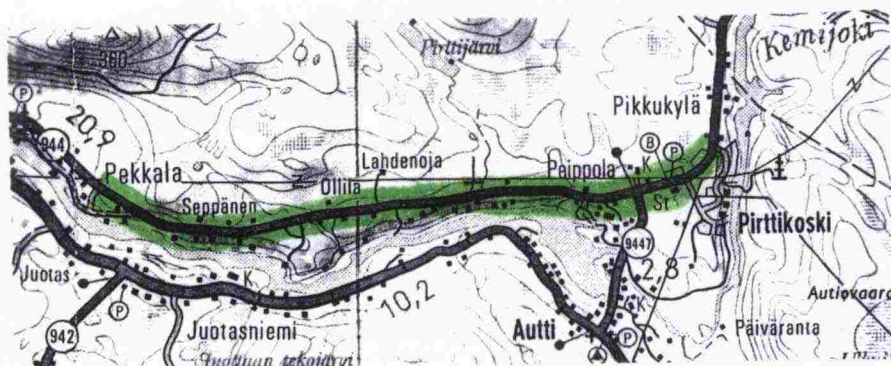
Lapin tiepiiriin emulsiokoeosuudet rakennettiin 3.8.-13.8.1992 Rovaniemen maalaiskuntaan. Kokeiluväli sijaitsee maantiellä 944 välillä Pekkala-Pirttikoski. Tieosuudella tieosien 03 ja 04 KVL on 317 ja tieosan 05 KVL 576 ajoneuvoa/vrk. Koeosuuksien yhteispituus on n. 13,8 km.

Suurin osa koetiestä päällystettiin Lamminkankaan kohteen tapaan lämpimällä emulsiomassalla. Lisäksi rakennettiin muutama kylmä koeosuus erilaisilla tartukepitoisuuksilla. Kaikkia valmistettuja massatyypppejä tehtiin myös varastokasaan. Koeosuudet ja niiden sijainti Pirttikoskella ilmenee taulukosta 12 ja kuvasta 3.

Taulukko 12. Koetieosuudet Pirttikoskella

| Osuus / PLV | Sideainepit. / tartukepit. | Muuta |
|-----------------------------------|----------------------------|--|
| Osuus 1, ES 18 OIK 5294-5400 | 3,55% / 1,0% | kylmä massa tielle 32 t, v.kasaan 32 t |
| Osuus 2, ES 18 OIK 6437-6537 | 3,55% / 1,3% | kylmä massa tielle 30 t, v.kasaan 30 t |
| Osuus 3, ES 18 OIK 1731-1837 | 3,55% / 1,6% | kylmä massa tielle 40,5 t, v.kasaan 27 t |
| Osuus 4, ES 18 OIK 5400-5535 | 3,55% / 0,6% | haalea massa (+ 30 °C) tielle 40,5 t, v.kasaan 27 t |
| Osuus 5, ES 18 muut paaluvälit | 3,55% / 0,6% | lämmin massa (+ 48...50 °C) v.kasaan 67,5 t |

Päällysteen leveys oli koeosuuksilla 6,00 m ja massaa levitettiin 100 kg/m².



Kuva 3. Pirttikosken koetien sijainti ja koeosuudet

5.2 Käytetyt materiaalit ja ohjeavrot

Kiviaineksena käytettiin paikallista Kellokankaan soramurskettä, jonka rakeisuus oli 0-18 mm. Kiviaineksen kiintotiheys oli $2,66 \text{ g/cm}^3$. Kiviaines oli murskattu 1991. Sen humuspitoisuuden todettiin olevan melko alhainen, humuspitoisuusluokka oli 1. Kiviaineksen murskausaikainen keskiarvokäyrä on kappaleessa 5.5. Tutkimustulosten perusteella kiviaines täytti TIEL:n asettamat laatuvaatimukset.

Sideaineena oli Neste Oy:n koebitumista B-3000 kentällä emulgoitu bitumiemulsio BE 3000. Sideaineen tutkimustulokset ilmenevät luvusta 12. Lapin tiepiirissä tehdyn emulsiokoetien kiviaineksena käytetyn soramurskeen suhteitustulokset näkyvät taulukosta 2.

5.3 Koneet ja miestyövahvuudet

Urakoitsijana toimi Kalottikone Oy, joka vastasi sideaineen emulgoinnista ja massan sekoituksesta. Savatie Oy huolehti massan levityksestä ja tiivistyksestä. Käytetyt koneet ja miesvahvuudet ilmenevät luvusta 3.

5.4 Rakentamisen toteutus

Koetien rakentaminen aloitettiin maanantaina 3.8.1992. Sovittiin, että urakoitsija ottaa työvuoron pohjatyöt vastaan päivittäin ja pohjatöiden mahdolliset puutteet korjataan ennen päällysteen tekoa. Alusta oli koko koetiellä sitomaton.

Työt aloitettiin sekoittamalla koemassa, joka levitettiin liittymiin. Koneasema oli toiminnassa 9.40-19.15. Päivän kaikki massat tehtiin lämpiminä. Levitystöitä tehtiin 10.20-19.35. Varsinaisen koepäällysteen levittäminen aloitettiin tieosuuden Pirttikosken puoleisesta päästä. Turbon toimintahäiriö ja pohjien korjaukset aiheuttivat yhteensä 1,5 tunnin keskeytyksen työhön. Hukkamassaa syntyi 13,5 tonnia. Päivä oli pilvinen ja iltapäivällä satoi hieman. Lämpötila vaihteli 11...16 °C välillä.

Tiistaina 4.8. asema oli käynnissä 6.40-18.30 tunnin keskeytyksellä ja levitystöitä tehtiin 7.00-19.30. Massoista meni hukkaan 4,5 t. Kaikki massat olivat lämpimiä. Sää oli edellisen päivän kaltainen aamupäivällä, mutta iltapäivällä sade häytti päällystystöitä. PLV 12120-11480 levitystyön aikana vettä satoi kohtuullisesti ja sade koveni niin, että PLV 11480-11310 levitystyö tehtiin kovassa sateessa.

Seuraavana koepäivänä koneasema oli keskeytyksittä toiminnassa 6.45-18.15 ja levitystöitä tehtiin 7.00-18.45. Kaikki massat sekoitettiin lämpiminä. Sateilta säästytettiin, vaikka sää olikin pilvinen.

Torstaina 6.8. asema kävi 6.15-18.00 ja levityspää työskenteli 7.00-18.30. Levitystyöt aloitettiin tieosuuden Pekkalan päästä. Kaikki päivän massat olivat lämpimiä ja 67,5 tonnia massaa tehtiin varastokasaan. Sää oli puolipilvinen ja välillä ukkoskuurot vaikeuttivat työtä.

Perjantaina tehtiin lämpimän massan ohella myös kylmä koeosuus PLV 1731-1837 (koeosuus 3). Asema oli toiminnassa 5.30-14.40 ja levitys 6.00-15.00. Sää oli pilvinen mutta sateeton.

10.8. työt käynnistyivät 6.45 ja koneasema oli toiminnassa 18.15 asti. Amiinin annostuksen toimintahäiriö aiheutti asemalla tunnin keskeytyksen. Päivän kaikki massat sekoitettiin lämpiminä. Levitystöitä tehtiin 8.10-18.45. Sää oli puolipilvistä.

Taulukko 13. Työsaavutukset ja rakentamisen eteneminen

| pvm | PLV | pinta-ala (m ²) | massa (t) | menekki (kg/m ²) | teho (t/h) |
|-------|------------------------------------|-----------------------------|--|------------------------------|------------|
| 3.8. | OIK 13812-12779 VAS 13812-13038 | 6142 | 621 | 101,11 | 130 |
| 4.8. | OIK 12779-11315 VAS 13038-11433 | 10126 | 1012,5 | 99,99 | 130 |
| 5.8. | OIK 11315-9631 VAS 11433-9647 | 11332 | 1134 | 100,07 | 130 |
| 6.8. | OIK -52-1731 VAS -52-1748 | 11349 | 1134 tielle 67,5 v.kasaan | 99,92 | 130 |
| 7.8. | OIK 1731-3418 VAS 1748-3484 | 10303 | 1031 tielle 32 v.kasaan | 100,07 | 130 |
| 10.8. | OIK 3418-5294 VAS 3484-5317 | 11530 | 1156,5 | 100,30 | 130 |
| 11.8. | OIK 5294-6437 VAS 5317-6437 | 7253 | 725 tielle 59 v.kasaan 32 v.kasaan | 99,96 | 130 |
| 12.8. | OIK 6437-8271 VAS 6437-8240 | 11093 | 1110 | 100,06 | 130 |
| 13.8. | OIK 8271-9631 VAS 8240-9647 | 9626 | 964,5 | 100,20 | 130 |

Tiistaina 11.8. ja keskiviikkona 12.8. kokeiltiin kolmea erilaista kylmää osuutta kuumien annosten ohella. Koeosuudet jäivät lyhyiksi, kutakin varten sekoitettiin vain yksi annos. Koeosuuksia on merkitty numeroilla 1,2

ja 4. Sää oli edellisten päivien kaltainen, kuurottaista sadetta oli molempina koepäivinä.

Emulsio-osuudet saatiin rakennettua loppuun 13.8., jolloin asema toimi 6.15-18.30 ja levityspää työskenteli 6.30-19.00. Viimeiset koemassat tehtiin lämpiminä. Saman päivän iltana tehtiin vielä vertailuosuudet öljysorasta. Koneasema oli toiminnassa 19.45-04.15 ja levitystyö 20.00-21.30. Yöllä tehtiin massaa varastokasaan. Öljysoramassaa tehtiin yhteensä 1128 t, josta tielle levitettiin 175 t. Sää oli koko päivän pilvinen.

Koneaseman kokonaistyöaika oli 100,57 tuntia. Keskeytyksiä oli yhteensä 30,5 tuntia, eli 30,3% työajasta. Urakoitsijasta aiheutuneiden keskeytysten osuus oli 29,3% eli 29,5 tuntia. Koneaseman keskimääräinen sekoitusteho oli 90,3 t/h.

5.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset

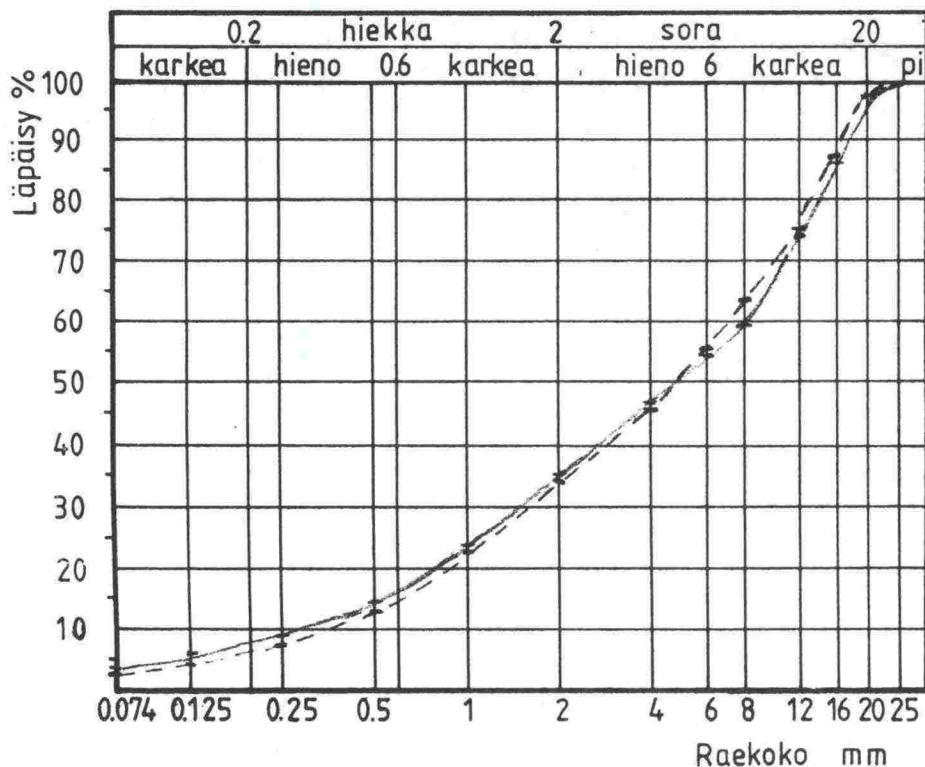
Kenttälaboratoriossa tutkittiin sekä tieltä että asemalta otettuja massanäytteitä. Lisäksi määritettiin murskekasasta kiviaineksen kosteuspitoisuus. Murskekasasta otettujen kiviainesnäytteiden perusteella soramurskeen kosteuspitoisuus oli 4,2%.

Kenttälaboratoriossa tutkittiin yhteensä 15 asemalta otettua ja 27 tieltä otettua massanäytettä. Näiden tulosten perusteella koemassojen ominaisuudet olivat keskimäärin seuraavat:

| | Tie | Asema |
|-------------------------------|-------|-------|
| Sideainepitoisuus: | 3,58% | 3,65% |
| Sideainepitoisuuden ohjearvo: | 3,55% | 3,55% |
| Vesipitoisuus: | 4,21% | 4,57% |

| Rakeisuudet: | murskausaikainen toteutunut | |
|--------------|-----------------------------|-------|
| 0,074 | 3,5 | 4,2 |
| 0,125 | 4,3 | 5,8 |
| 0,25 | 7,8 | 9,1 |
| 0,5 | 13,0 | 14,2 |
| 1 | 22,9 | 23,2 |
| 2 | 34,6 | 35,6 |
| 4 | 46,7 | 46,9 |
| 6 | 55,0 | 54,2 |
| 8 | 63,0 | 61,0 |
| 12 | 74,0 | 75,3 |
| 16 | 87,0 | 86,3 |
| 20 | 97,0 | 97,5 |
| 25 | 100,0 | 100,0 |

Rakeisuuskäyrät:



massan rakeisuus: _____

murskausaikainen rakeisuus: - - - - -

Piirin kenttälaboratoriossa tehtyjen MYR-kokeiden perusteella tarttuvuus sekä kylmillä että lämpimillä massoilla oli tyydyttävä.

Koetien tasaisuutta tutkittiin 25.8.1992. Lämpimänä sekoitetut päällystemasat ovat tiivistyneet tasaiseksi pinnaksi. Niiden IRI4-arvot vaihtelevat 0,6...1,3 välillä, ja keskiarvo on 0,91. Kylmistä massoista tehdyiltä koeosuuksilta mitattiin hieman suurempia arvoja, 1,4...1,6. Poikkeamaindeksi pysyi kaikilla osuuksilla sallituissa rajoissa. Pohjissa olleet puutteet näkyivät reunapainumina.

6. Kuopion tiepiirin emulsiokoetie: Neituri - Isoniitty

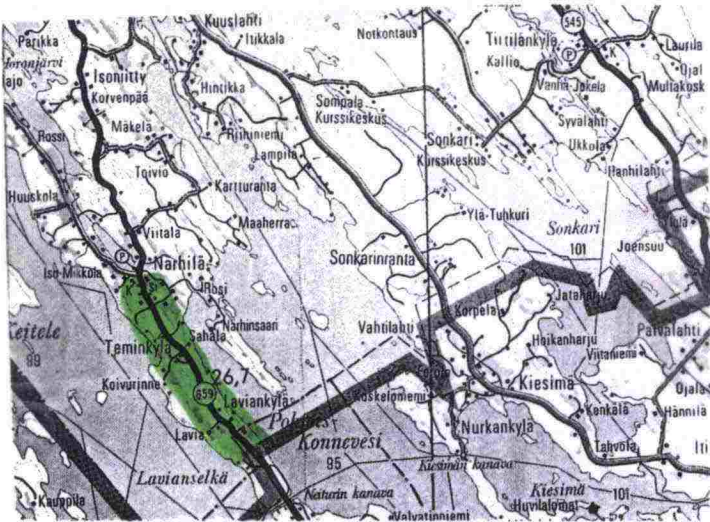
6.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet

Kuopion tiepiiriin emulsiokoeosuudet rakennettiin 17.8.-21.8.1992 Vesannon kuntaan. Koetie sijaitsee maantiellä 659 välillä Neituri-Isoniitty. Tieosuuden KVL on 300 ajoneuvoa/vrk. Koeosuuksien yhteispituus on n. 5,0 km. Koetien sijainti Vesannon kunnassa näkyy kuvasta 4. Rakennetut koeosuudet ja niiden sijainti koetiellä ilmenee taulukosta 14 ja kuvasta 5. Sekoitusasemapaikkana oli Kotakangas Rautalammen kunnassa.

Taulukko 14. Koetieosuudet Kotakankaalla

| Osuus / PLV | Sideainepit. / tartukepit. | Muuta |
|--|----------------------------|---|
| Osuus 1, ES 16 VAS 2819-2725 | 3,55% / 1,6% | kylmä massa, koko tartukemäärä lisätty emulgointivaikheessa tielle 33 t, v.kasaan 15 t |
| Osuus 2, ES 16 VAS 2725-2611 | 3,55% / 1,2% | haalea massa (+ 20 °C) tielle 33 t, v.kasaan 15 t |
| Osuus 3, ES 16 VAS 2611-2526 | 3,55% / 0,8% | lämmin massa (+ 40 °C) tielle 33 t |
| Osuus 4, ES 20 OIK 593-0 VAS 607-0 | 3,55% / 0,6% | poikkeava rakeisuus v.kasaan 48 t |
| Osuus 5, ES 16 OIK 4229-2819 VAS 4194-2819 | 3,55% / 0,7% | lämmin massa (+ 50 °C), tartukkeena Asfier 110 |
| Osuus 6, ES 16 muut paaluvälit | 3,55% / 0,6% | lämmin massa (+ 50 °C) |

Päällysteen leveys koeosuudella oli 6,5 m, ja massaa levitettiin 100 kg/m².



Kuva 4. Koetien sijainti Vesannon kunnassa

| Isoniitty | | |
|-----------|------------|---------|
| Mt 659 | | |
| PL 5087 | Koeosuus 6 | PL 5087 |
| PL 4194 | | PL 4229 |
| | Koeosuus 5 | |
| PL 2819 | | PL 2819 |
| PL 2725 | | |
| PL 2611 | | |
| PL 2526 | Koeosuus 6 | |
| | | |
| PL 607 | Koeosuus 4 | PL 593 |
| PL 0 | | PL 0 |
| Neituri | | |

Kuva 5. Koetieosuuksien sijaintikaavio

6.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot

Kiviaineksena käytettiin Kotakankaan soramursketta. Työssä käytettiin kahta rakeisuutta, 0-16 mm ja 0-20 mm. Kiviaineksen kiintotiheys oli $2,71 \text{ g/cm}^3$. Kiviaines oli murskattu 1992. Sen humuspitoisuusluokan todettiin olevan 0, joten kiviaineksen arveltiin puhtaudeltaan soveltuvan hyvin emulsiokiviainekseksi. Kiviaineksen murskausajaiset keskiarvokäyrät ja sille tehtyjen laboratoriotutkimusten tulokset näkyvät kappaleen viimeisessä luvussa 6.5.

Sideaineena oli Neste Oy:n koebitumista B-3000 kentällä emulgoitu bitumiemulsio BE 3000. Muista koekohteista poiketen Kuopiossa valmistettiin myös kaksi kuormaa sellaista emulsiomassaa, jonka sideaineen koko tartukemäärä oli lisätty kentällä emulgoinnin yhteydessä. Sideaineen tutkimustulokset ilmenevät luvusta 12. Kuopion tiepiirissä tehdyn emulsiokoetien kiviaineksena käytetyn soramurskeen suhteitustulokset näkyvät luvun 2 taulukosta 3.

6.3 Koneet ja miestyövahvuudet

Sideaineen emulgoinnista ja massan sekoituksesta vastasi Kalottikone Oy. Massan levityksestä ja tiivistyksestä huolehti Savatie Oy. Käytetyt koneet ja miesvahvuudet ilmenevät luvusta 3.

6.4 Rakentamisen toteutus

Asema pystytettiin Kotakankaan murskauspaikalle 15.8.1992. Työt aloitettiin maanantaina 17.8. Ensimmäisenä työpäivänä koneasema oli toiminnassa 7.00-18.20. Keskeytyksiin, jotka johtuivat emulsion annostushäiriöstä ja koemassan tutkimisesta, kului yhteensä 5,96 tuntia. Kiviaineksena käytettiin rakeisuutta 0...16 mm ja massat tehtiin lämpiminä ($+50^\circ\text{C}$). Levitystöitä tehtiin 9.50-19.15. Töiden aluksi tehdyt koemassat levitettiin linja-autopysäkillä ja liittymäalueelle. Massa oli väriltään huomattavan vaaleaa. Ensimmäisen Kuopion emulsiokoetien rakentamispäivän sää oli pilvinen ja osittain myös sateinen.

Seuraavana päivänä sää pysyi ennallaan. Asema oli toiminnassa 6.45-17.00 ja levitystyöt 7.00-20.30. Aseman toiminta keskeytyi 2,65 h ajaksi, koska massa-autoja jouduttiin odottamaan. Massa tehtiin edellisen päivän tapaan lämpiminä kiviaineksesta 0-16 mm. Tartukkeena kokeiltiin poikkeuksellisesti tartuketta Asfier 110, ja sitä lisättiin 0,6% (koeosuus 5).

Keskiviikkona 19.8. koneasema käynnistettiin 6.30 ja toiminta jouduttiin keskeyttämään 12.40 vesisateen vuoksi. Lisäksi koemassojen valmistus aiheutti asemalla 1,18 tunnin keskeytyksen. Levitystöitä tehtiin 8.00-14.00. Kiviaineksen rakeisuutena käytettiin edelleen 0-16 mm, mutta osa massoista sekoitettiin kylminä ja useita eri tartukepitoisuuksia kokeiltiin (koeosuudet 1,2 ja 3). Kutakin koemassaa sekoitettiin 3000 kg annos.

Seuraavana koepäivänä kaikki emulsiomassat sekoitettiin lämpiminä 0...16 mm soramurskeesta. Koneasema oli toiminnassa 6.30-16.30. Keskeytyksiä aiheuttivat annostushäiriöt (1,50 h) ja autojen viivästyminen (1,36 h). Levitystyöt kestivät 7.00-17.45. Oikealle kaistalle paaluvälille 2225-2180 levitettiin massaa, jonka valmistuksessa koneasemalla oli ollut annostushäiriöitä. Sää jatkui edellisten päivien kaltaisesti sateisena ja viileänä, lämpötila oli 8...10 °C.

Viimeisenä koetien rakentamispäivänä käytettiin karkeampaa 0-20 mm kiviainesta (koeosuus 4). Massaa sekoitettiin koneasemalla 6.15-11.55 välinen aika ja levitystyöt kestivät 7.00-11.30. Massaa valmistettiin sekä tielle että varastokasaan.

Työn eteneminen ja eri päivien työsaavutukset ilmenevät taulukosta 15.

Taulukko 15. Kuopion tiepiirin emulsiokoetien rakentamisen eteneminen

| pvm | PLV | pinta-ala (m ²) | massa (t) | menekki (kg/m ²) | teho (t/h) |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------|
| 17.8. | OIK 4229-5087 VAS 4194-5094 | 6972 | 689,5 | 98,90 | 130 |
| 18.8. | OIK 4229-2819 VAS 4194-2819 | 9907 | 992 tielle 45 v.kasaan | 100,13 | 130 |
| 19.8. | OIK 2819-2230 VAS 2819-1756 | 5393 | 539 | 99,94 | 130 |
| 20.8. | OIK 2230-593 VAS 1756-607 | 9267 | 928 | 100,14 | 130 |
| 21.8. | OIK 593-0 VAS 607-0 | 4600 | 400 tielle 60 silta 48 v.kasaan | 100,00 | 130 |

Koneaseman kokonaistyoaika oli 42,45 tuntia. Keskeytyksiä oli yhteensä 13,2 tuntia, eli 31,1% työajasta. Urakoitsijasta aiheutuneiden keskeytysten osuus oli 31,1% eli 13,2 tuntia. Koneaseman keskimääräinen sekoitusteho oli 85,6 t/h.

6.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset

Kenttälaboratoriossa tutkittiin sekä tieltä että asemalta otettuja massanäytteitä. Lisäksi määritettiin murskekasasta kiviaineksen kosteuspitoisuus.

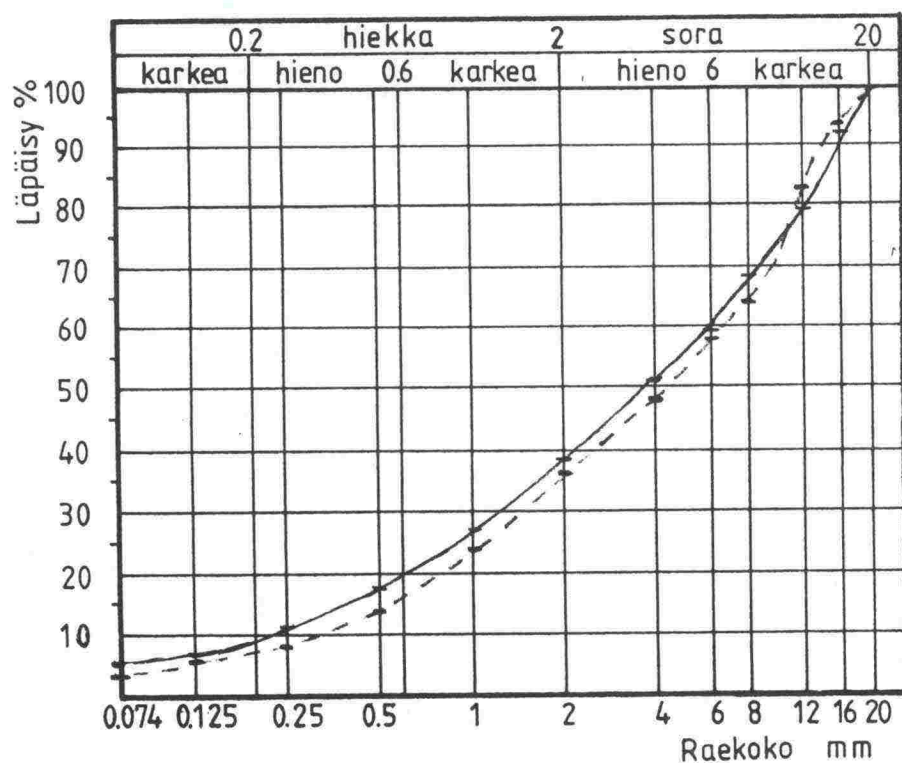
Murskekasasta otettujen kiviainesnäytteiden perusteella soramurskeen kosteuspitoisuus oli 3,1%.

Kenttälaboratoriossa tutkittiin yhteensä 8 asemalta otettua ja 12 tieltä otettua massanäytettä. Näiden tulosten perusteella koemassojen ominaisuudet olivat keskimäärin seuraavat:

| | Tie | Asema |
|-------------------------------|-------|-------|
| Sideainepitoisuus: | 3,67% | 3,99% |
| Sideainepitoisuuden ohjearvo: | 3,55% | 3,55% |
| Vesipitoisuus: | 4,65% | 5,62% |

| Rakeisuudet: | murskausaikainen toteutunut | |
|--------------|-----------------------------|-------|
| 0,074 | 3,6 | 4,9 |
| 0,125 | 5,1 | 6,5 |
| 0,25 | 8,6 | 11,0 |
| 0,5 | 14,4 | 18,0 |
| 1 | 23,8 | 27,8 |
| 2 | 37,2 | 40,0 |
| 4 | 48,5 | 52,2 |
| 6 | 57,0 | 60,7 |
| 8 | 64,0 | 68,6 |
| 12 | 82,0 | 80,9 |
| 16 | 94,0 | 93,7 |
| 20 | 100,0 | 100,0 |

Rakeisuuskäyrät:



massan rakeisuus: —————

murskausaikainen rakeisuus: - - - - -

Tarttuvuus oli MYR-kokeiden perusteella hyvä kaikilla tutkituilla koemassoilla.

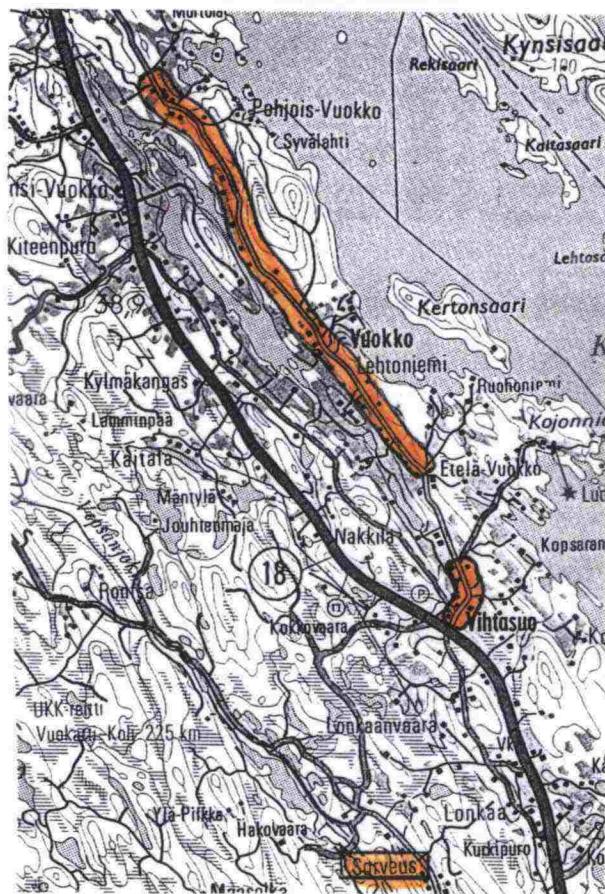
Koetien tasaisuutta tutkittiin 2.9.1992 tehdyllä tasaisuusmittauksella. Kaikkien koeosuuksien IRI4-arvojen keskiarvo oli 0,84 ja poikkeamaindeksien keskiarvo 0,85. Lämpimällä massalla päällystetyt osuudet olivat kylmiä parempia, mutta eri osuuksien välillä ei ollut suuria eroja, kuten seuraavasta ilmenee:

| Osuus nro | IRI4 | PI |
|-----------|------|-----|
| 1 | 1,03 | 3,7 |
| 2 | 0,85 | 1,1 |
| 3 | 0,97 | 2,8 |
| 4 | 0,81 | 0,8 |
| 5 | 0,91 | 0,8 |
| 6 | 0,78 | 0,6 |

7. Pohjois-Karjalan tiepiirin emulsiokoetie 1: Vuokon pt

7.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet

Pohjois-Karjalan tiepiiriin Juuan kuntaan rakennettiin kaksi emulsiokoetietä. Ensimmäisenä rakennusvuorossa oli Vuokon paikallistie nro 15826, joka päällystettiin 24.8.-27.8.1992. Koeosuuden pituus on n. 5,0 km ja päällysteen leveys 5,5 m. Koetien sijainti ilmenee kuvasta 6. Koeosuuden KVL on 120...140 ajoneuvoa. Sekoitusasemapaikkana oli Sorveus.



Kuva 6. Koetien sijainti

Massan lämpötila vaihteli 34...53 °C välillä, joten varsinaisia kylmiä osuuksia ei kokeiltu. Koska eri päivinä valmistettujen massojen tartukepitoisuukssissakaan ei ollut eroja, ei koetieltä voida erottaa varsinaisia toisistaan poikkeavia osuuksia.

7.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot

Kiviaineksena käytettiin vuonna -87 alunperin AB-päällysteeseen murskattua Sorveuksen soramursketta. Rakeisuutena oli 0-16 mm. Kiviaineksen kiintotiheys oli $2,67 \text{ g/cm}^3$. Sen humuspitoisuusluokan todettiin olevan 1. Kiviaineksen murskausaikaiset keskiarvokäyrät näkyvät luvussa 7.5.

Sideaineena oli Neste Oy:n koebitumista B-3000 kentällä emulgoitu bitumiemulsio BE 3000. Sideaineen tutkimustulokset ilmenevät luvusta 12. Pohjois-Karjalan tiepiirissä tehdyn emulsiokoetien kiviaineksena käytetyn soramurskeen suhteitustulokset näkyvät luvun 2 taulukosta 4.

7.3 Koneet ja miestyövahvuudet

Sideaineen emulgoinnista ja massan sekoituksesta vastasi Kalottikone Oy, joka toimi kohteessa urakoitsijana. Savatie Oy huolehti massan levityksestä ja tiivistyksestä. Käytetyt koneet ja miesvahvuudet ilmenevät luvusta 3.

7.4 Rakentamisen toteutus

Paaluvälille 7200-1191 emulsiomassaa levitettiin 100 kg/m^2 ja paaluvälille 582-266 tehtiin massapintausta. Alusta oli koko koetiellä sitomaton.

Rakentaminen aloitettiin 24.8.1992 ja ensimmäisenä työpäivänä sekoitin oli toiminnassa 8.30-18.00. Työt aloitettiin kahden kuorman koemassalla, jotka levitettiin liittymiin. Asemalla oli kahden tunnin mittainen seisokki, joka aiheutui sekoitusluukun häiriöistä. Levitystyöt kestivät 7.30-18.30. Sää oli puolipilvistä ja lämpötila oli $+12^\circ\text{C}$.

Seuraavana päivänä massan sekoitukseen päästiin vasta 9.00, koska virtalähde ei käynnistynyt, kun töiden piti alkaa 7.00. Levitysaika oli 7.00-18.31. Sää pysyi edellisen päivän kaltaisena.

Keskiviikkona 26.8. töitä tehtiin koneasemalla keskeytyksettä 7.00-16.30. Levitystyöt kestivät 7.00-17.30. Aseman toimintahäiriön vuoksi 8 tonnia massaa hylättiin. Sää oli pilvinen ja välillä saatiin tihkusadetta.

Viimeisenä työpäivänä massaa sekoitettiin 7.00-18.30. Amiinin syöttöhäiriö aiheutti tunnin keskeytyksen. PLV 276-424 levitetty massa oli väriltään ruskehtavaa ja hienoaaines pyrki irtoamaan siitä. Tämän aiheutti todennäköisesti kiviainekseen sekoittuneen materiaalin korkea humuspitoisuus. Työn loppuvaiheessa kiviaines otettiin murskekasan pohjalta, jossa

murskeeseen on sekoittunut pohjamaata tai muita epäpuhtauksia. Mahdollinen vaurioituminen paaluvälillä 276-424 saattaa aiheutua myös alustan heikosta laadusta. Alusta jäi tältä osuudelta hieman kuoppaiseksi pohjatöiden kiireellisyyden takia.

Taulukko 16. Sorveuksen emulsiokoetien rakentamisen eteneminen

| pvm | PLV | pinta-ala (m ²) | massa (t) | menekki (kg/m ²) |
|-------|--|--------------------------------|-----------|---------------------------------|
| 24.8. | OIK 7200-6427 VAS 7200-6437 | 4543 | 452 | 99,49 |
| 25.8. | OIK 6427-5027 VAS 6437-4952 | 7994 | 800 | 100,08 |
| 26.8. | OIK 5027-4513 VAS 4952-4513 OIK 3180-1999 VAS 3180-2041 | 9219 | 924 | 100,23 |
| 27.8. | OIK 1999-1191 VAS 2041-1191 OIK 582-266 VAS 582-266 | 6905 | 712 | 102,53 |

Koneaseman kokonaistyöaika oli 42,5 tuntia. Keskeytyksiä oli yhteensä 10 tuntia, eli 23,6% työajasta. Puolet keskeytyksistä aiheutui urakoitsijasta. Koneaseman keskimääräinen sekoitusteho oli 76,9 t/h.

7.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset

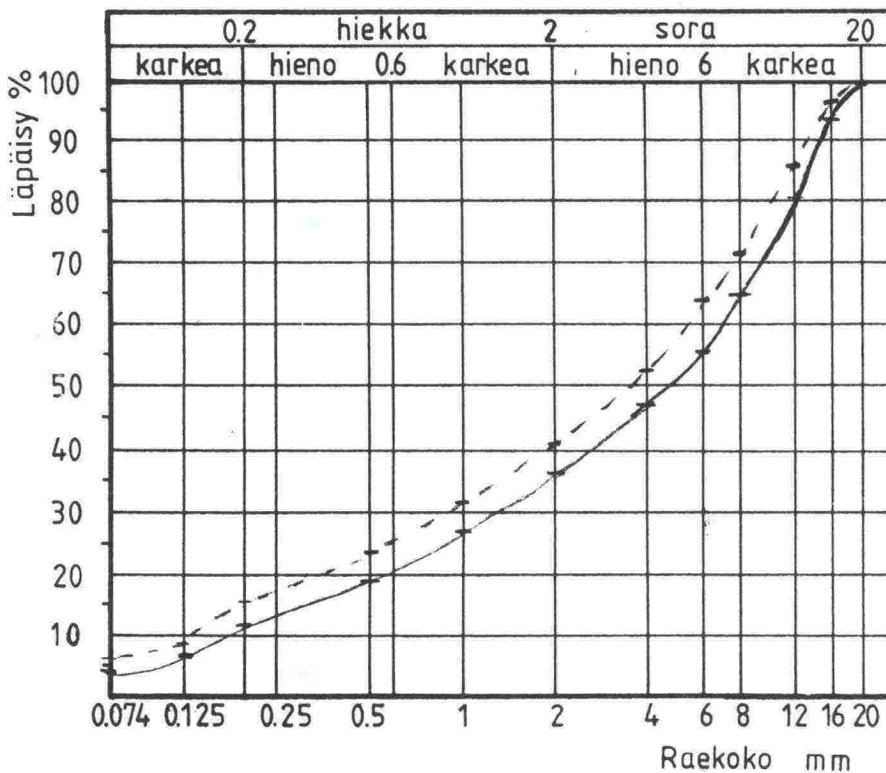
Kenttälaboratoriossa tutkittiin yhteensä 11 massanäytettä. Kaikki näytteet oli otettu tieltä. Näiden tulosten perusteella koemassojen ominaisuudet olivat keskimäärin seuraavat:

| | |
|-------------------------------|-------|
| Sideainepitoisuus: | 3,53% |
| Sideainepitoisuuden ohjearvo: | 3,50% |
| Vesipitoisuus: | 4,88% |

Rakeisuudet: murskausaikainen toteutunut

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0,074 | 5,4 | 4,5 |
| 0,125 | 8,4 | 6,4 |
| 0,25 | 15,1 | 12,0 |
| 0,5 | 23,3 | 19,4 |
| 1 | 31,5 | 26,3 |
| 2 | 41,0 | 36,0 |
| 4 | 52,4 | 46,8 |
| 6 | 63,0 | 55,7 |
| 8 | 71,0 | 64,6 |
| 12 | 86,0 | 80,2 |
| 16 | 97,0 | 93,2 |
| 20 | 100,0 | 100,0 |

Rakeisuuskäyrät:



massan rakeisuus: —————

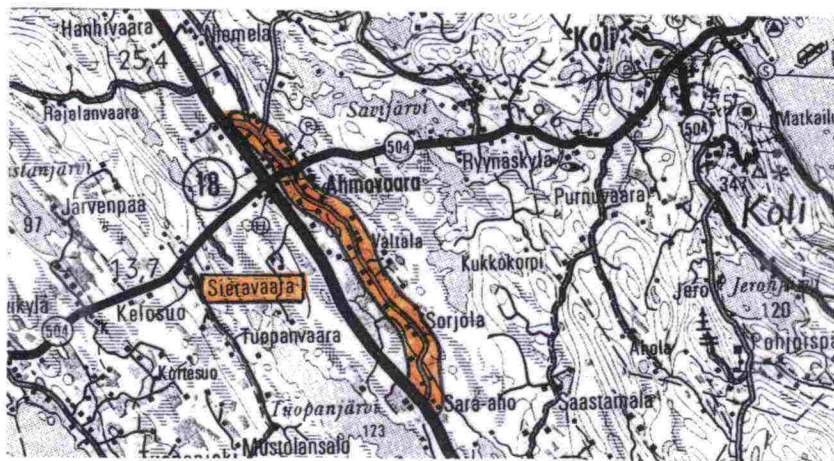
murskausaikainen rakeisuus: - - - - -

Tarttuvuus oli MYR-kokeiden perusteella hyvä kaikilla tutkituilla koemas-
soilla, tarttuvuusarvot vaihtelivat välillä 0,1...0,4.

8. Pohjois-Karjalan tiepiirin emulsiokoetie 2: Ahmovaaran pt

8.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet

Toinen Pohjois-Karjalan tiepiiriin Juuan kuntaan rakennetuista emulsiokoetieistä Ahmovaaran paikallistie nro 15805, joka päällystettiin 31.8.-3.9.1992. Koeosuuden pituus on n. 6,9 km ja päällysteen leveys 5,5 m. Koetien sijainti ilmenee kuvasta 7. Koeosuuden KVL on 110...160 ajoneuvoa. Sekoitusasemapaikkana oli Sieravaara.



Kuva 7. Koetien sijainti Sieravaaran sekoitusaseman lähellä

Lämpiminä valmistettujen massojen lämpötila vaihteli 42...63 °C välillä. Tartuketta käytettiin 0,6%. Yhdellä koeosuudella kokeiltiin kylmänä sekoitettua massaa, jonka tartukepitoisuutena käytettiin 1,0%. Kylmää koemassaa levitettiin kaksi kuormaa paaluvälille 1965-1879 oikeanpuoleiselle ajoradalle.

8.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot

Kiviaineksena käytettiin keväällä -92 murskattua Kansalan soramurskettä. Rakeisuutena oli 0-16 mm. Kiviaineksen kiintotiheys oli 2,70 g/cm³ ja humuspitoisuusluokka 4. Korkea humuspitoisuus aiheutti selviä tarttuvuusongelmia. Kiviaineksen murskausaikaiset keskiarvokäyrät ja sille tehtyjen laboratoriotutkimusten tulokset näkyvät luvun viimeisessä kappalessa.

Sideaineena oli Neste Oy:n koebitumista B-3000 kentällä emulgoitu bitumiemulsio BE 3000. Sideaineen tutkimustulokset ilmenevät luvusta 12. Ahmovaaran paikallistielle tehdyn emulsiokoetien kiviaineksena käytetyn soramurskeen suhteitustulokset näkyvät luvun 2 taulukosta 5.

8.3 Koneet ja miestyövahvuudet

Sideaineen emulgoinnista ja massan sekoituksesta vastasi Kalottikone Oy. Kalottikoneen aliurakoitsijana toimi Savatie Oy, joka huolehti levityksestä ja tiivistyksestä. Käytetyt koneet ja miesvahvuudet ilmenevät luvusta 3.

8.4 Rakentamisen toteutus

Alusta oli sitomaton koko koetiellä.

Työt käynnistyivät koemassan valmistuksella 31.8.1992. Koneasema oli käynnissä 7.00-19.00 ja levitystyöt 8.00-19.50. Asemalla oli päivän aikana keskeytyksiä yhteensä kolme tuntia.

Taulukko 17. Sieravaaran emulsiokoetien rakentamisen eteneminen

| pvm | PLV | pinta-ala (m ²) | massa (t) | menekki (kg/m ²) |
|-------|---|--------------------------------|-----------|---------------------------------|
| 31.8. | OIK 7580-6525 VAS 7580-6525 OIK 5983-5970 | 6524 | 660 | 101,16 |
| 1.9. | OIK 5970-4240 VAS 5983-4242 | 9868 | 988 | 100,13 |
| 2.9. | OIK 4240-1965 VAS 4242-1989 | 12749 | 1280 | 100,40 |
| 3.9. | OIK 1965-22 VAS 1989-325 | 10396 | 1040 | 100,03 |

Heti ensimmäiset massat osoittivat tarttuvuuden huonoksi, ja kiviaineksen humuspitoisuutta päätettiin selvittää piirin laboratoriossa. Hienoaines erottui massasta ruskeana lietteenä heti levityksen ja tiivistyksen jälkeen. Muutaman päivän kuluttua päällystyksestä pinta ei enää poikennut vastaavasta Vuokon pt:lle tehdystä emulsiopäällysteestä. Ensimmäisen työpäivän sää oli pilvinen.

Tiistaina 1.9. koneasemalla valmistettiin massaa 7.00-18.45 ja levitystyöt kestivät 7.00-18.50. Vettä satoi kuurottaisesti. Keskiviikkona 2.9. työpäivä koneasemalla kesti 6.50-20.50 ja levitystöiden teko 7.00-21.00. Keskeytyksiä ei näinä koetien rakennuspäivinä ollut. Tiistain ja keskiviikon sää oli kesän emulsiokokeilun parhaita, lämpötila oli yli 20 °C ja sää oli aurinkoinen.

Koneaseman kokonaistyöaika oli 51,5 tuntia. Keskeytyksiä oli yhteensä 8 tuntia, eli 15,5% työajasta. Keskeytyksistä 4,5 tuntia aiheutui urakoitsijasta. Koneaseman keskimääräinen sekoitusteho oli 76,9 t/h.

8.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset

Tarttuvuus oli MYR-kokeiden perusteella tyydyttävä tai jopa huono kaikilla tutkituilla koemassoilla. Lämpimien massojen tarttuvuusarvot vaihtelivat välillä 1,8...7,2. Näihin tuloksiin verrattuna kylmän emulsiomassan tarttuvuus oli hämmästyttävän hyvä, tarttuvuusarvoksi saatiin 1,6.

Huonoa tarttuvuutta osattiin odottaa Neste Oy:n tekemien sekoitustutkimusten tulosten perusteella. Esitutkimusten lisäksi Sieravaaran sekoitusasemalla käytettyä soramursketta tutkittiin myös piirin omassa laboratoriossa humuspitoisuuden selvittämiseksi useammasta näytteestä. Näiden laboratoriotutkimusten tulokset osoittivat murskeen humusluokan olevan 3...4.

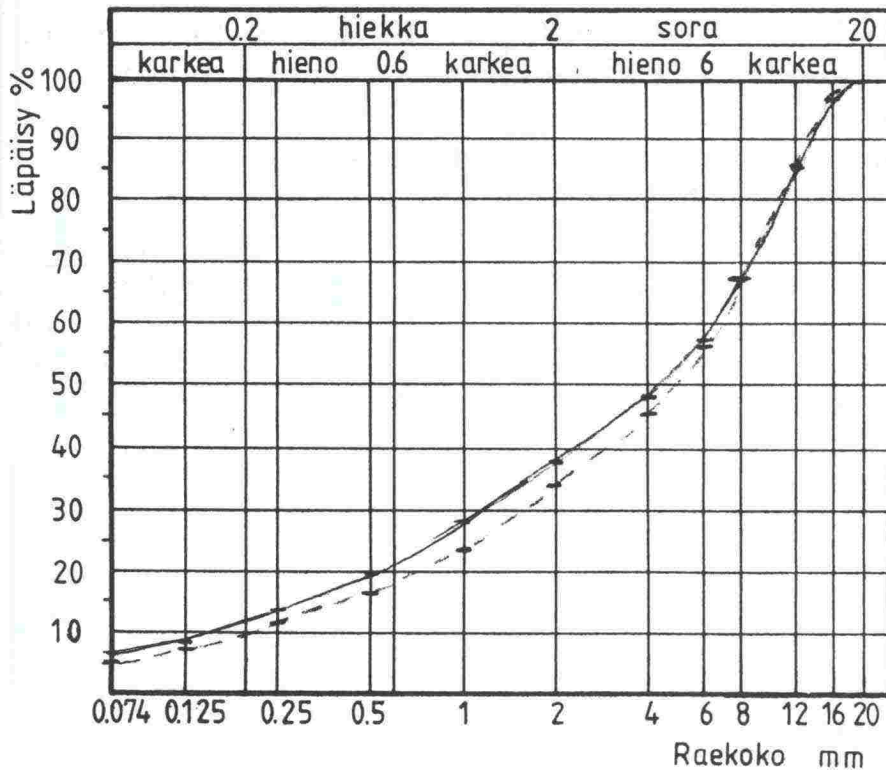
Kenttälaboratoriossa tutkittiin yhteensä 11 tieltä otettua massanäytettä. Näiden tulosten perusteella koemassojen ominaisuudet olivat keskimäärin seuraavat:

| | |
|-------------------------------|-------|
| Sideainepitoisuus: | 3,49% |
| Sideainepitoisuuden ohjearvo: | 3,60% |
| Vesipitoisuus: | 5,26% |

Rakeisuudet: murskausaikainen toteutunut

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0,074 | 5,0 | 6,4 |
| 0,125 | 7,3 | 8,7 |
| 0,25 | 11,5 | 13,4 |
| 0,5 | 16,4 | 19,9 |
| 1 | 23,8 | 27,9 |
| 2 | 33,8 | 38,2 |
| 4 | 46,6 | 48,3 |
| 6 | 56,0 | 57,2 |
| 8 | 67,0 | 67,0 |
| 12 | 84,0 | 84,4 |
| 16 | 94,0 | 96,5 |
| 20 | 100,0 | 100,0 |

Rakeisuuskäyrät:



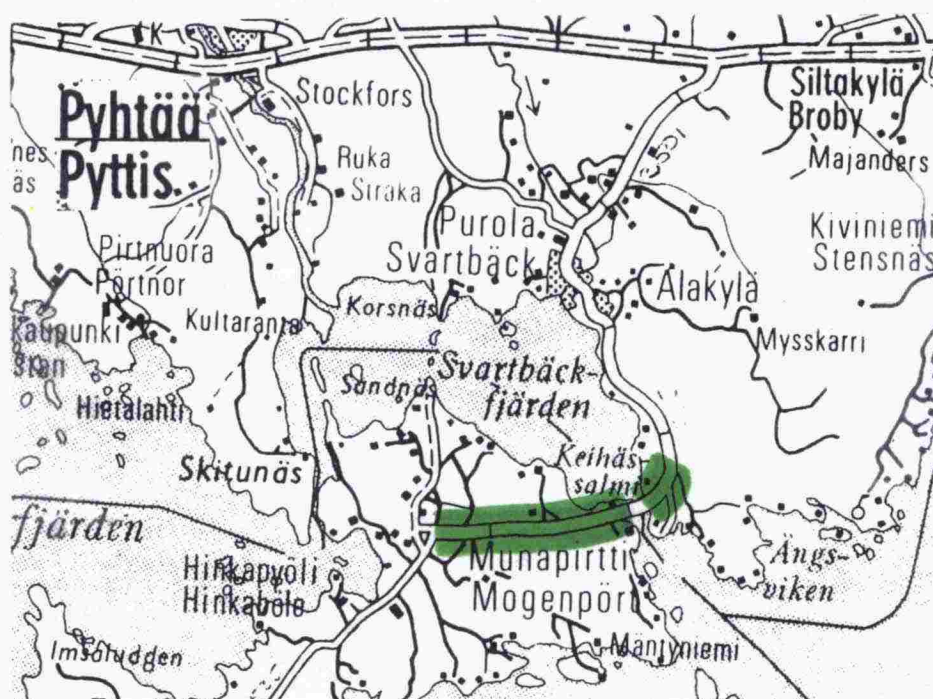
massan rakeisuus: —————

murskausaikainen rakeisuus - - - - -

9. Kymen tiepiirin emulsiokoetie: Purola-Munapirtti

9.1 Koeaika, koepaikka, liikennemäärät ja koeosuudet

Koeosuudet rakennettiin 14.8.-20.8.1992. Koepaikka sijaitsee Kymen läänissä Pyhtäällä. Koetie rakennettiin Tuuskin paikallistielle 14535 välille Purola-Munapirtti. Koetielle tehtiin noin 2600 m emulsiokoeosuuksia. KVL tiellä on 370 ajoneuvoa/vrk ja nopeusrajoitus 80 km/h. Koetien sijainti on esitetty kuvassa 8.

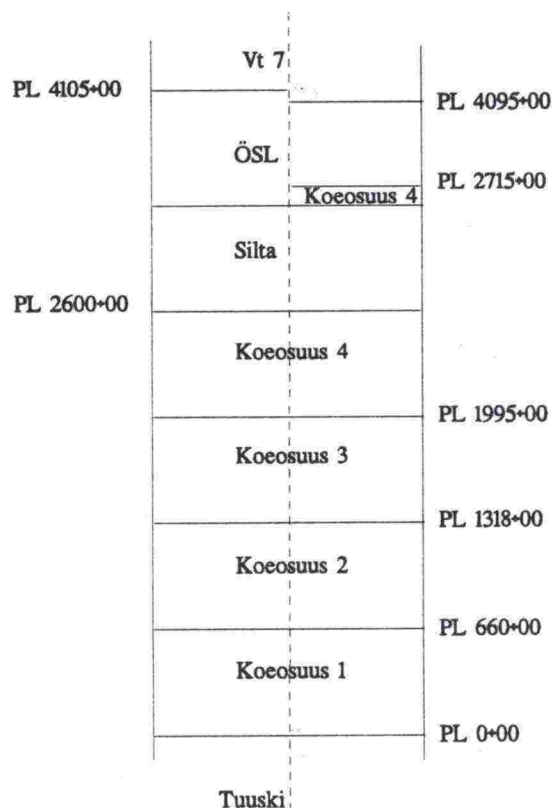


Kuva 8. Koetien sijainti Pyhtäällä

Taulukko 18. Pyhtään koetieosuudet

| Koeosuuden nro | Sideainepit. ohjearvo | Muuta |
|----------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Koeosuus 1 | 3,6% | kylmä massa |
| Koeosuus 2 | 3,6% | lämmin massa |
| Koeosuus 3 | 3,3% | kylmä massa |
| Koeosuus 4 | 3,4% | kylmä massa, Yllikkälän kiviaines |

Pyhtään koetielle rakennettiin neljä varsinaista emulsiokoeosuutta. Vertailuosuus tehtiin lämpimästä öljysorasta. Väli Alakylä-Lehtimäki päällystettiin ennakkosuunnitelmista poiketen kokonaan KAB:lla. Koeosuudet ilmenevät taulukosta 18 ja niiden sijainti koetiellä on nähtävissä kuvasta 9.



Kuva 9. Koeosuuksien sijainti koetiellä

Päällysteen leveys vaihteli välillä 6,0...6,1 m välillä, ja massaa levitettiin 100 kg/m^2 .

9.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot

Koeosuuksilla 1-3 samoin kuin öljysoraosuudella käytettiin Pyhtään Kumpulan kalliomurskettä 0-16 mm, joka oli murskattu koneasemapaikalla keväällä -92. Koeosuuden 4 kiviainekseksi valittiin Ylikkälän kalliomurske 0-16 mm, joka poikkesi ominaisuuksiltaan muista emulsiokokeiluissa käytetyistä kiviaineksista. Sen kiintotiheys on korkea, $2,98 \text{ g/cm}^3$ ja pintavaraus keskimääräiseen suomalaiseen kallioperään verrattuna poikkeuksellisen lievästi negatiivinen. Käytettyjen kiviainesten murskausaikaiset rakeisuuskeskiarvokäyrät on esitetty kappaleessa 9.5.

Sideaineena koeosuuksilla käytettiin Neste Oy:n valmistamaa bitumiemulsiota BE 3000T. Vertailuosuus tehtiin lämpimänä öljysorana, jonka sideaineena oli BÖ 2. Kaikki sideaineet toimitettiin työmaalle valmiina Naantalista. Käytettyjen sideaineiden tutkimustulokset ilmenevät luvusta 12.

Kullekin osuudelle suhteitustutkimuksissa määrätty sideainepitoisuuden ohjearvo ilmenee taulukoista 7 ja 8.

9.3 Koneet ja miestyövahvuudet

Massan valmistuksen, levityksen ja tiivistyksen teki Tielaitoksen Kymen piiri kalustollaan.

Koneet

| | |
|----------------|---|
| Sekoitusasema: | MX-30 B + Turbo-kiviaineksenlämmitysjärjestelmä |
| Levitin: | Blaw Knox 171, paino 14 t, vm -89 |
| Jyrä: | Hamm DV 6, paino 6 t |
| Kuormaaja: | Fiat-Allis, paino 16 t |

Miesvahvuudet

| | | |
|----------------|------------------------|---|
| Sekoitusasema: | Konemiehiä | 2 |
| | Kuormaajan kuljettajia | 1 |
| | Työnjohtaja | 1 |
| | Laborantti | 1 |
| Levityspää: | Levittimen kuljettaja | 1 |
| | Perämies | 1 |
| | Jyrän kuljettaja | 1 |
| | Huoltomies | 1 |
| | Ammattimiehiä | 4 |

9.4 Rakentamisen toteutus

Koeosuudet tehtiin osittain vanhan karhitun öljysorapäällysteen ja osittain stabiloinnin päälle. Alustan ennakkokäsittelyn teki tielaitoksen Kymen tiepiiri.

Ennen päällystystöiden aloittamista tehdyssä vaurioinventaariorissa havaittiin molempien kaistojen reunojen painuneen paikoitellen. Kantavuustietoja ei tieosuudelta ole käytettävissä. Muutamia verkkohalkeamia ylettyi molempien kaistojen yli. Karhinnan jäljiltä irtonaista kiviainesta oli paikoitellen runsaasti vanhan päällysteen päällä.

Työ aloitettiin Munapirtin päästä 2,6 km Keihässalmen sillalta Munapirtin suuntaan. Koeosuuksia rakennettiin kolmena eri päivänä.

Kokeilu tehtiin vaihtelevissa sääoloissa. Ensimmäisenä päivänä 14.8.1992 sää oli hyvin sateinen. Sade oli alkanut jo yöllä ja alustat olivat märkiä. Tästä huolimatta päällystettiin osa ensimmäisestä koeosuudesta. Lämpötila vaihteli välillä 12...15 °C. Koneasema oli toiminnassa klo 6.00 - 7.30, jonka jälkeen työt jouduttiin keskeyttämään heikkojen sääolojen vuoksi.

Toisena koepäivänä 17.8. sää oli pilvipoutainen, lämpötila 15...18 °C. Alustat olivat kuivia. Koneasema oli toiminnassa 6.30 - 17.20. Toisen työpäivän jälkeen kaikki emulsio-osuudet olivat valmiita.

Vertailuosuus lämpimästä öljysorasta rakennettiin kolmantena työpäivänä 19.8. Sää oli puolipilvinen ja välillä satoi heikosti. Koneasema oli toiminnassa 6.30 - 16.30.

Eri päivien työkohteet ja työsaavutukset ilmenevät taulukosta 19.

Ajomatka sekoitusasemalta levityskohteeseen oli pisimmilläänkin vain noin 11 km. Ajomatkan lyhyden vuoksi massan saanti oli tasaista.

Kaikkien osuuksien massat olivat murtuneet lähes kokonaan sekoituksen ja kuljetuksen aikana. Kuljetusvaiheessa ei massoista havaittu poistuvan vettä.

Ensimmäisen osuuden massan lämpötila oli n. 20 °C ja vesipitoisuus 3,7%. Toteutunut sideainepitoisuus oli 3,7%. Massa oli massa-auton lavalla ja heti levityksen jälkeen ulkonäöltään ruskeata, huomattavasti öljysoraa vaaleampaa. Karkeat rakeet eivät olleet täysin peittyneitä. Massa oli kuitenkin homogeenista, eikä siinä ollut hienoaineksen ja sideaineen muodostamia paakkuja. Ajoratojen keskellä massa lajittui selvästi. Ongelmaa

Yritettiin turhaan korjata levittimen asetuksia muuttamalla. Sideainelaikkuja ei päällysteessä havaittu. Liikenne irrotti jonkin verran kiviä valmiista pinnasta. Vettä jäi kovan sateen vuoksi lammikoiksi tuoreen päällysteen pinnalle.

Taulukko 19. Koetien rakentamisen eteneminen

| pvm | Osuus | PLV | pinta-ala (m ²) | massa (t) | menekki (kg/m ²) |
|-------|---------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 14.8. | Osuus 1 | OIK 0-660 VAS 0-145 | 2445 | 240 | 98,2 |
| 17.8. | Osuus 1 | VAS 145-660 | | 160 | |
| | Osuus 2 | OIK 660-1318 VAS 660-1318 | | 400 | |
| | Osuus 3 | OIK 1318-1995 VAS 1318-1995 | | 400 | |
| | Osuus 4 | OIK 1995-2715 VAS 1995-2600 | | 400 | |
| 17.8. | | | yht. 13692 | 1360 | 99,4 |
| 19.8. | Osuus 5 | OIK 2715-4095 VAS 2600-4105 | 10158 | 1029 | 101,3 |

Massan lämmittämisen vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin tutkittiin toisella koeosuudella, jonka massan lämpötila oli n. 50 °C. Lämmittäminen ei vaikuttanut massan vesipitoisuuteen, vaan se oli tälläkin osuudella 3,7%. Myös toteutunut sideainepitoisuus oli 3,7%. Ensimmäiseen osuuteen verrattuna massa oli väriltään huomattavasti tummempaa ja kaikki rakeet olivat täysin peittyneitä. Massa oli hyvin tasalaatuista. Ajoin kokeiden keskikohdalla tapahtui edelleen massan lajittumista, mutta lajittuminen oli huomattavasti vähäisempää kuin kylmällä massalla.

Kolmannella koeosuudella kokeiltiin kylmän massan onnistumista selvästi alhaisemmalla sideainepitoisuudella. Toteutunut sideainepitoisuus oli 3,4% ja vesipitoisuus 3,3%. Massan lämpötila oli 22 °C. Massa oli ominaisuuksiltaan ensimmäisen osuuden massan kaltaista. Valmis päällyste jäi väriltään ensimmäistä osuutta vieläkin vaaleammaksi, ja karkeitten rakeiden huonon peittymisen vuoksi rakeita irtosi valmiista päällysteestä.

Emulsion toimimista erityyppisillä kiviaineksilla tutkittiin rakentamalla neljäs koeosuus Lappeenrannan läheltä tuodusta Yliskälän kalliomurskeesta. Rakeet näyttivät osin kiviaineksen tummasta väristä johtuen hyvin peittyneiltä. Valmis päällyste oli selvästi lajittunutta ja päällysteestä irtosi runsaasti kiviä. Syynä tähän oli kiviaineksen rakeisuuskäyrän muoto. Emulsion ja kiviaineksen yhteensopivuuden merkitystä ei osuuden perusteella voida arvioida.

Emulsiokoeosuuksien jälkeen tehtiin vielä referenssiosuus lämpimästä öljysorasta. Massan lämpötila oli 45 °C ja sideainepitoisuus 3,5%. Vesipitoisuus jäi 2,4%.

Liikenteen tiivistävä vaikutus oli kaikille emulsiopäällysteille edullinen. Irtokivien määrä väheni selvästi muutamassa päivässä päällystyksestä.

9.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset

Kolmella ensimmäisellä emulsio-osuudella ja vertailuosuudeksi rakennetussa öljysorapäällysteessä käytettiin Pyhtään Kumpulan kalliomursketta O...16. Tämän kalliomurskeen rakeisuus oli kenttälaboratorion tulosten perusteella murskauskieskiarvokäyrän mukainen.

Koeosuudella neljä käytetyn Yliskälän kalliomurskeen rakeisuuskäyrä poikkesi selvästi murskauskäyrästä. Se ei myöskään täyttänyt öljysorakiviainekselle asetettuja rakeisuusvaatimuksia. Hienoainepitoisuus on erittäin korkea ja 0,25...2 mm rakeet puuttuvat lähes kokonaan.

Kenttälaboratoriossa tutkittiin yhteensä 10 asemalta otettua massanäytettä. Näiden tulosten perusteella koemassojen ominaisuudet olivat keskimäärin seuraavat:

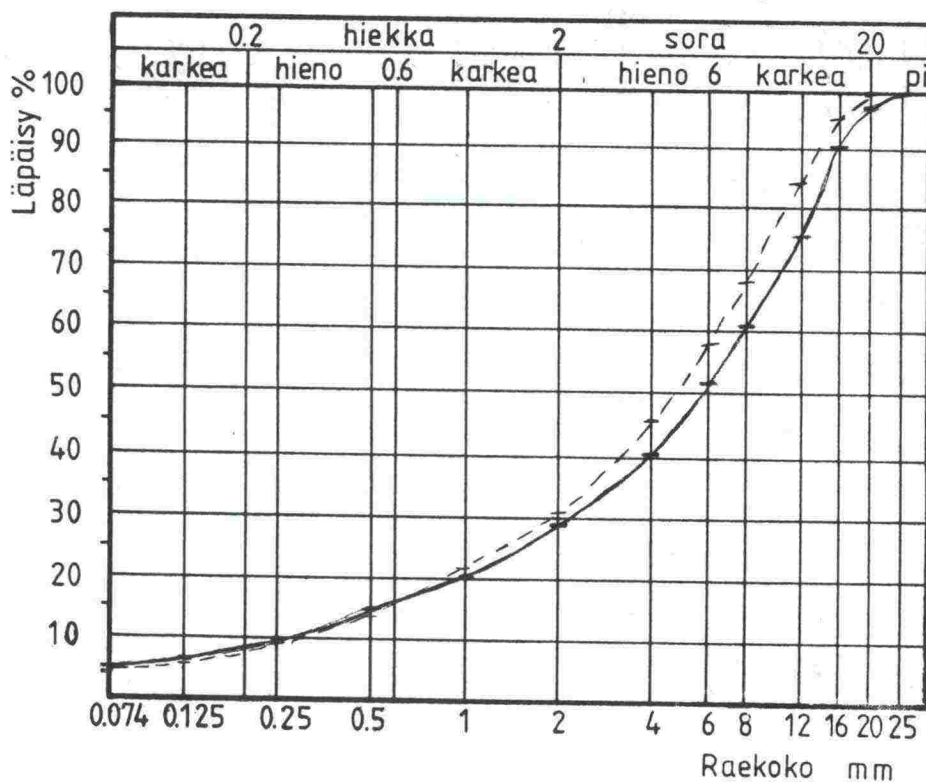
| | |
|-------------------------------|------------------------|
| Sideainepitoisuuden ohjearvo/ | Osuus 1: 3,60% / 3,74% |
| toteutunut sideainepitoisuus: | Osuus 2: 3,60% / 3,73% |
| | Osuus 3: 3,30% / 3,29% |
| | Osuus 4: 3,40% / 3,40% |

| | |
|----------------|----------------------|
| Vesipitoisuus: | Kylmät osuudet 3,55% |
| | Lämmin osuus 3,73% |

Pyhtään kalliomurske

| Rakeisuudet: | murskausaikainen | toteutunut |
|--------------|------------------|------------|
| 0,074 | 4,1 | 5,0 |
| 0,125 | 5,8 | 6,6 |
| 0,25 | 9,5 | 9,9 |
| 0,5 | 14,2 | 14,0 |
| 1 | 21,3 | 20,2 |
| 2 | 30,9 | 29,0 |
| 4 | 45,7 | 40,3 |
| 6 | 58,0 | 51,2 |
| 8 | 68,0 | 60,7 |
| 12 | 84,0 | 75,8 |
| 16 | 95,0 | 90,2 |
| 20 | 100,0 | 98,5 |
| 25 | | 100,0 |

Rakeisuuskäyrät:



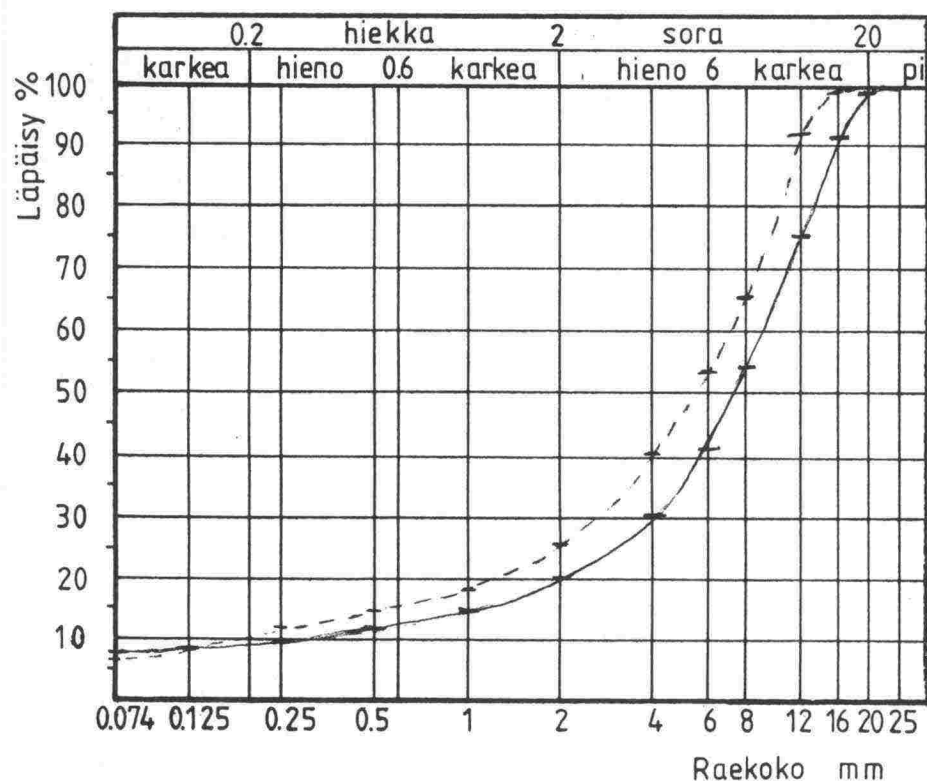
massan rakeisuus: —————

murskausaikainen rakeisuus - - - - -

Yllikkälän kalliomurske

| Rakeisuudet: | murskausaikainen | toteutunut |
|--------------|------------------|------------|
| 0,074 | 6,7 | 7,5 |
| 0,125 | 8,7 | 8,6 |
| 0,25 | 11,2 | 9,9 |
| 0,5 | 14,0 | 11,5 |
| 1 | 18,4 | 14,4 |
| 2 | 26,2 | 20,0 |
| 4 | 40,4 | 30,3 |
| 6 | 53,7 | 41,5 |
| 8 | 65,9 | 54,0 |
| 12 | 92,1 | 75,5 |
| 16 | 99,7 | 91,9 |
| 20 | 100,0 | 99,0 |
| 25 | | 100,0 |

Rakeisuuskäyrät:



massan rakeisuus: —————

murskausaikainen rakeisuus: - - - - -

MYR-kokeella määritetyt tarttuvuusarvot osuuksittain näkyvät taulukosta 20. Massan lämmittäminen parantaa selvästi vedenkestävyyttä.

Taulukko 20. MYR-kokeen tulokset osuuksittain

| Osuus | Tarttuvuusarvo (g) |
|---------|--------------------|
| Osuus 1 | 1,7 |
| Osuus 2 | 0,0 |
| Osuus 3 | 0,9 |
| Osuus 4 | 1,6 |
| Osuus 5 | 0,0 |

Alusta

Virttaa

PL 8327

BLS

ÖS16 kylmä
BÖ-2T13

ÖS16 kylmä
BÖ-2T13

PL 7780

Sr

PL 7510

PL 7430

BLS

ES16 lämmin
B-3000 T 0.85

ES16 lämmin
B-3000 T 0.85

PL 6150

PL 6038

ES16 kylmä
B-3000 T 0.85

PL 5333

ES16 lämmin
B-3000 T 0.85

PL 4595

Sr

EKAB16 kylmä
B-6000 T 0.85

PL 4530

PL 4372

EKAB16 lämmin
B-6000 t 0.85

EKAB16 lämmin
B-6000 t 0.85

PL 3185

PL 3178

PL 2350

ES16 lämmin
B-1500 T 0.85

ES16 lämmin
B-1500 T 0.85

PL 2297

PL 653

BLS

PL 625

ES16 lämmin
B-3000 T 0.85

ES16 lämmin
B-3000 T 0.85

PL 0

ES16 lämmin
B-1500 T 0.85

Yläne

Kuva 11. Koetieosuudet Yläneellä

Taulukosta 21 selviää tarkemmin eri osuuksilla käytetyn kiviaineksen rakeisuus ja massan sideaine- ja tartukepitoisuudet.

Taulukko 21. Emulsiokoetien osuudet Yläneellä

| Koeosuuden nro / Päällystetyyppi | Sideaine / sideainepit. ohjearvo / tartukepit. | Rakeisuus |
|-------------------------------------|---|-------------------------------|
| Osuus 1 / ÖS 16 | BÖ 2 T / 3,60% / 1,3% | 0-16 mm: 100% |
| Osuus 2 / ES 16 | BE 3000 T / 3,50% / 0,6% | 0-12 mm: 50% 12-16 mm: 50% |
| Osuus 3 / ES 16 | BE 3000 T / 3,50% / 0,85% | 0-12 mm: 50% 12-16 mm: 50% |
| Osuus 4 / EKAB 16 | BE 6000 T / 4,30% / 0,85% | 0-12 mm: 50% 12-16 mm: 50% |
| Osuus 5 / ES 16 | BE 1500 T / 3,50% / 0,85% | 0-12 mm: 50% 12-16 mm: 50% |
| Osuus 6 / ES 16 | BE 3000 T / 3,50% / 0,85% | 0-12 mm: 50% 12-16 mm: 50% |
| Osuus 7 / ES 16 | BE 3000 T / 3,50% / 0,85% | 0-16 mm: 100% |
| Osuus 8 / ES 16 | BE 1500 T / 3,50% / 0,85% | 0-16 mm: 100% |

10.2 Käytetyt materiaalit ja ohjearvot

Kaikilla koeosuuksilla ja öljysoraosuudella käytettiin Yläneen Kunnanmaan kalliomursketta. Osa murskeesta oli seulottu kahteen lajitteeseen, 0-12 mm ja 12-16 mm. Murskaustyö oli tehty loppuvuodesta -91. Kiviaineksen kiintotiheys on $2,76 \text{ g/cm}^3$. Osalla koeosuuksista käytettiin lajitteisiin seulottua ja osalla seulomatonta kiviainesta. Käytetyn kiviaineksen murskausaikainen rakeisuuskeskiarvokäyrä on esitetty kappaleessa 10.5. Kiviaineksen ja sideaineen välistä tarttuvuutta heikensi kiviaineksessa olevan kiilteen runsas määrä.

Kuten muissakin Kalottikoneen urakoimissa kohteissa, valmistettiin myös Yläneellä sideaine kentällä emulgoimalla Neste Oy:n toimittama bitumipohja. Sideaineen tutkimustulokset ilmenevät luvusta 12.

Kiviainekselle suhteitustutkimuksissa määrätty sideainepitoisuuden ohjearvo ilmenee taulukosta 6.

10.3 Koneet ja miestyövahvuudet

Sideaineen emulgoinnista ja massan sekoituksesta vastasi Kalottikone Oy. Savatie Oy huolehti massan levityksestä ja tiivistyksestä. Käytetyt koneet ja miesvahvuudet ilmenevät luvusta 3.

10.4 Rakentamisen toteutus

Muista kesän emulsiokoetiekohteista poiketen Yläneen koetiellä alusta oli osin sitomaton ja osin sidottu. Alustan vaihtelut näkyvät kuvasta 11.

Työt käynnistyivät 7.9.1992. Päällystäminen aloitettiin öljysorasta tehtävällä referenssiosuudella, joka tehtiin koetien Virttaan puoleiseen päähän. Öljysora tehtiin kylmänä. Osa 7.9. sekoitetusta öljysorasta levitettiin vasta seuraavana aamuna.

Tiistaina 8.9. aloitettiin ensimmäinen varsinainen emulsiokoeosuus. Se tehtiin lämmitettynä, massan lämpötila asemalla oli n.52 °C. Aluksi emulgointivaiheessa tartuketta lisättiin 0,6%, mutta todella huonojen MYR-tulosten (tarttuvuusarvo 15) vuoksi määrää lisättiin 0,85% asti. Tartukemäärän lisäys auttoi pudottamaan tarttuvuusarvot tyydyttäväiksi. MYR-kokeiden heikot tulokset huomioon ottaen päällysteestä irtosi tiellä yllättävän vähän kiviä.

Kylmä emulsiosoraosuus rakennettiin 10.9. Poikkeuksellisen korkeasta tartukepitoisuudesta 0,85% huolimatta MYR-kokeen tulokset olivat huonoja. Kylmästä massasta tehdystä päällysteestä irtosi kiviä lämpimiä osuuksia enemmän.

Tieosuus Yläne-Virttaa oli ainoa koko kesän emulsiokokeiluissa, jossa kokeiltiin myös bitumipohjaltaan B 3000:sta poikkeavia sideaineita emulsioidissa. Emulsiokevyttasfalttikonin kokeilu aloitettiin 11.9. kylmällä massalla. Lämmittämätön EKAB, jonka sideaineena oli BE 6000, tuotti pettymyksen. Massa oli epähomogeenista, suurimmat kiviainesrakeet olivat jääneet sekoituksessa paljain ja hienoina muodosti sideaineen kanssa suuria

paakkuja. Levitetty ja tiivistetty päällyste purkautui massan epähomogeenisuuden vuoksi heti. Kun kylmä EKAB osoittautui näin huonoksi, ei sitä levitetty tielle kuin yksi kuorma. Sen sijasta kokeiltiin lämmintä EKAB:a. Lämmitettynä BE 6000 sekoittui hyvin 55...60 °C lämpötilassa. Massa oli tasalaatuista ja valmis pinta tummaa ja tasaista, eikä kiviä irtoillut liikenteen vaikutuksesta.

Toinen viskositeetiltaan erilainen sideaine oli pehmeä BE 1500. Massat tehtiin lämpiminä. Sekä massa että valmis päällyste olivat tasalaatuisia. Päällysteestä ei irronnut kiviä.

10.5 Kenttälaboratorion tutkimustulokset

Kenttälaboratoriossa tutkittiin tieltä otettuja massanäytteitä. Lisäksi määritettiin murskekasasta kiviaineksen kosteuspitoisuus. Kiviaineksen keskimääräiseksi kosteuspitoisuudeksi todettiin 3,6%.

Kenttälaboratorion tulosten perusteella koemassojen ominaisuudet olivat keskimäärin seuraavat:

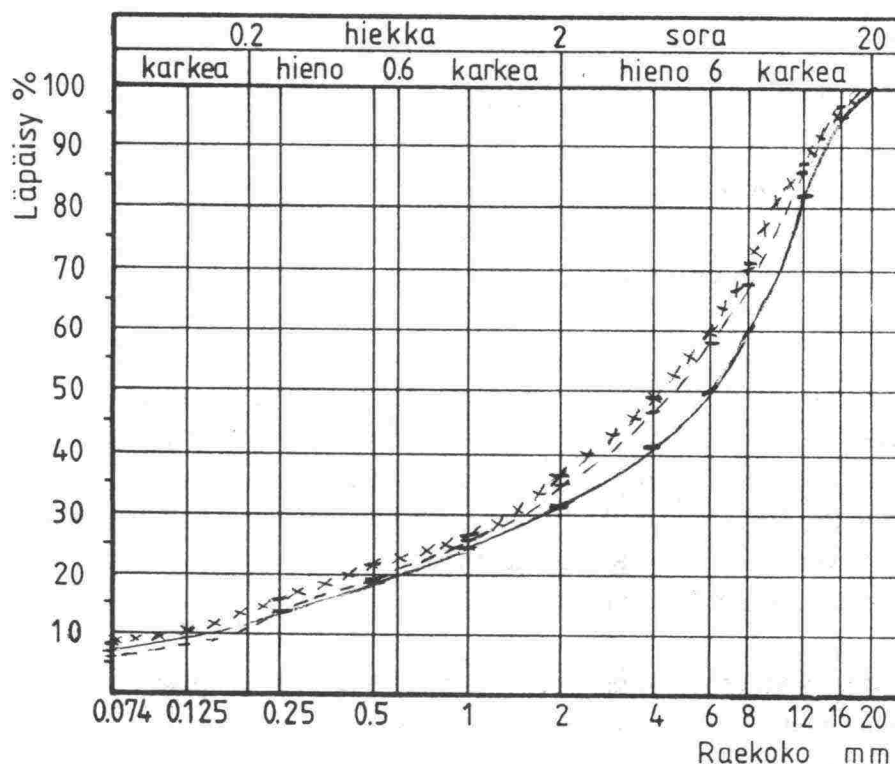
Tie / Asema

Sideainepitoisuuden ohjearvo/ BE 1500: 3,50% / 3,52%
toteutunut sideainepitoisuus: BE 3000: 3,50% / 3,50% / 3,56%
BE 6000: 4,30% / 4,14%

Vesipitoisuus: Lämmin 4,89%
Kylmä 3,98%

| Rakeisuudet: | murskausaikainen | toteutunut | |
|--------------|------------------|---------------|-------------------------------|
| | | 0-16 mm: 100% | 0-12 mm: 50% 12-16 mm: 50% |
| 0,074 | 5,6 | 8,1 | 6,4 |
| 0,125 | 8,1 | 10,6 | 9,5 |
| 0,25 | 13,3 | 15,8 | 13,4 |
| 0,5 | 19,4 | 21,8 | 19,2 |
| 1 | 26,6 | 27,3 | 25,8 |
| 2 | 35,7 | 37,1 | 32,3 |
| 4 | 47,9 | 48,9 | 41,7 |
| 6 | 58,7 | 60,0 | 50,1 |
| 8 | 68,2 | 71,2 | 60,2 |
| 12 | 85,6 | 86,6 | 82,4 |
| 16 | 96,2 | 97,4 | 95,5 |
| 20 | 100 | 100,0 | 100,0 |

Rakeisuuskäyrät:



Kuten jo edellä ilmeni, oli tarttuvuuden kanssa suuria ongelmia. Vasta tartukkeen tuntuva lisääminen laski MYR-kokeella määritetyt tarttuvuusarvot tyydyttäväiksi. Neste Oy:n laboratorion titraustulos osoitti ensimmäisen sideainekuorman osalta soveltuvaa alhaisempaa tartukepitoisuutta, joka osaltaan saattaa selittää alussa ilmenneet tarttuvuusongelmat. Kiviainek- sessa oli runsaasti kiillettä, mikä myös heikentää tarttumista.

11. Koemassojen stabiliteettitutkimukset

Koetiemassojen stabiliteetin kehittymistä tutkittiin TKK:n tielaboratoriossa. Kaksi viikkoa suljetuissa astioissa säilytetyistä massoista tehtiin kappaleita, joiden halkaisuvetolujuudet määritettiin + 5 °C lämpötilassa 1 vrk ja 14 vrk ikäisinä (kuva 12). Lujuus mitataan myöhemmin vielä 150 vrk ikäisistä koekappaleista. Rinnakkaisia koekappaleita halkaisuvetolujuuskokeissa tutkitaan viisi.

Laboratoriokokeiden 26.10.1992 mennessä antamat tulokset on esitetty taulukossa 22. Emulsiomassojen, joiden sideaineena on käytetty BE 3000, alkustabiliteetti on odotetusti öljysoraan verrattuna noin kaksinkertainen. Pehmeämmällä BE 1500-emulsiolla saavutettiin suunnilleen öljysoran kaltainen alkustabiliteetti. Lujuutta kasvatti aluksi myös massan lämmittäminen ja sideainepitoisuuden lisääminen.

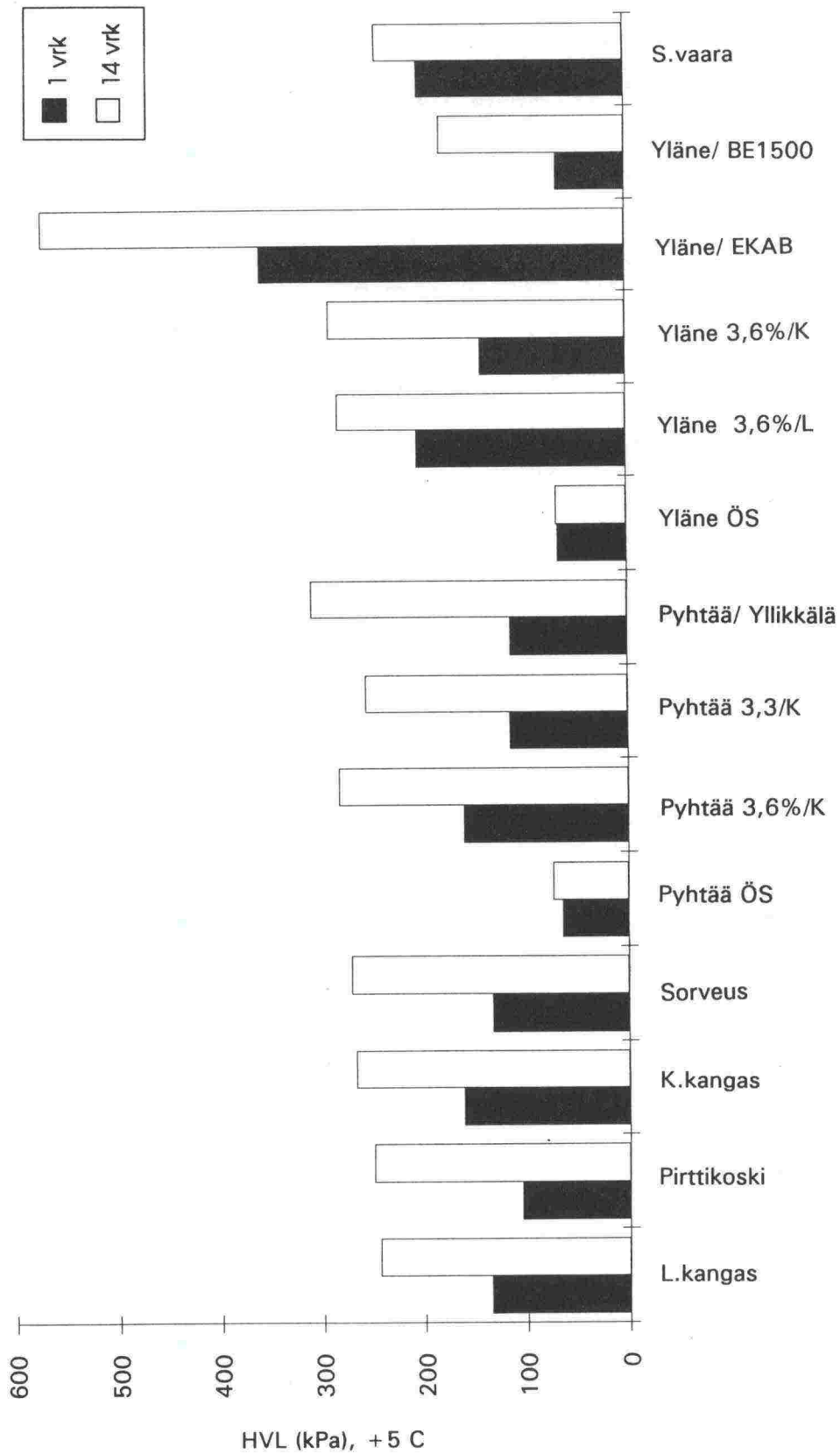
Kahden viikon kuluttua kappaleiden puristuksesta eri massojen väliset lujuuserot olivat selvästi pienentyneet. Sekoitustilapöytä ei enää ollut pääteltävissä HVL-tuloksista ja sideainepitoisuudenkin merkitys oli vähäisempi. Suhteellinen lujuuden kasvu oli voimakkainta massalla, jonka sideaineena oli BE 1500. Kahden viikon aikana tapahtunut stabiliteetin kasvu oli huomattavasti suurempaa kuin öljysoralla. Tämän ikäisissä kappaleissa emulsiio- ja öljysorapäälysteiden välinen ero lujuuden kehitymisessä tulee korostuneimmin esille. Emulsiosora saavuttaa kädessä viikossa lähes öljysoran lopullisen lujuuden.

Selvästi muita ES-massoja korkeammat lujuudet mitattiin Sieravaaran emulsiööljysorasta. Massa viipyi normaalia kauemmin postissa, ja kappaleet päästiin tekemään vasta kolmen viikon kuluttua massan valmistamisesta. Vaikka säilytysastia on huolellisesti suljettu, vanhenee massa selvästi säilytyksen aikana. Tästä syystä on syytä olettaa, että tiellä alkustabiliteetit jäävät hieman laboratorio-oloissa mitattuja arvoja alemmiksi.

Taulukko 22. Koemassojen halkaisuvetolujuudet, niiden keskihajonnat ja 95% luottamusväli

| Koetiemassojen stabiliteettikehitys | | | |
|---|-----------|--------------|--------------------|
| | | | |
| Halkaisuvetolujuus + 5 C, kappaleiden ikä 1 vrk | | | |
| | | | |
| Koetie | Keskiarvo | Keskihajonta | 95-% luottamusväli |
| Lamminkangas | 134,6 | 3,92 | 3,84 |
| Pirttikoski | 105,0 | 3,7 | 3,63 |
| Kotakangas | 162,1 | 10,2 | 10,0 |
| Sorveus | 133,2 | 10,17 | 9,97 |
| Pyhtää ÖS | 63,9 | 6,8 | 6,4 |
| Pyhtää 3,6%/K | 160,8 | 10,61 | 10,39 |
| Pyhtää 3,3%/K | 114,9 | 10,68 | 10,46 |
| Pyhtää/ Yllikkälä | 114,2 | 11,25 | 11,02 |
| Yläne ÖS | 66,6 | 4,25 | 4,17 |
| Yläne 3,6%/L | 204,5 | 14,57 | 14,28 |
| Yläne 3,6%/K | 141,6 | 6,18 | 6,19 |
| Yläne/EKAB | 358,2 | 8,16 | 7,99 |
| Yläne/BE1500 | 66,6 | 4,25 | 4,17 |
| Sieravaara | 202,5 | 6,5 | 6,37 |
| | | | |
| | | | |
| Halkaisuvetolujuus + 5 C, kappaleiden ikä 14 vrk | | | |
| | | | |
| Koetie | Keskiarvo | Keskihajonta | 95-% luottamusväli |
| Lamminkangas | 244,4 | 6,15 | 6,03 |
| Pirttikoski | 250,4 | 8,03 | 7,87 |
| Kotakangas | 267,7 | 15,9 | 15,5 |
| Sorveus | 272,1 | 4,73 | 4,64 |
| Pyhtää ÖS | 73,2 | 7,36 | 7,22 |
| Pyhtää 3,6%/K | 283,5 | 8,85 | 8,67 |
| Pyhtää 3,3%/K | 256,8 | 13,06 | 12,8 |
| Pyhtää/ Yllikkälä | 309,5 | 4,51 | 4,42 |
| Yläne ÖS | 68,4 | 3,09 | 3,03 |
| Yläne 3,6%/L | 282,4 | 8,44 | 8,27 |
| Yläne 3,6%/K | 290,8 | 5,55 | 5,44 |
| Yläne/EKAB | 571,8 | 44,14 | 43,26 |
| Yläne/BE1500 | 181,3 | 18,77 | 18,4 |
| Sieravaara | 243,0 | 7,25 | 7,1 |

Koetiemojien stabiileittikehitys



Kuva 12. Koetiemojien stabiileitin kehittyminen

12. Koe-emulsioiden tutkimustulokset

Kalottikone Oy:n kentällä emulgoimien sideaineiden BE 1500, BE 3000 ja BE 6000 pohjana olleiden koelaatubitumien B-1500, B-3000 ja B-6000 ominaisuudet ovat seuraavat:

| | B-1500 | B-3000 | B-6000 |
|---|--------|--------|--------|
| leimahduspiste (°C) | > 250 | > 250 | > 250 |
| tiheys + 15 °C (kg/m ³) | 989,0 | 989,5 | 1002 |
| viskositeetti + 60 °C (mm ² /s) | 1590 | 3008 | 6684 |
| painonmuutos (massa-%) | -0,123 | -0,06 | -0,06 |
| viskositeetti ohutk.k. (mm ² /s) | 2010 | 4185 | 9900 |

Veden ja bitumin suhteeksi tavoiteltiin 35%/65%.

Bitumipohjassa oli valmiina tartuketta Raisamin DT 0,4 % 10.9. asti, jolloin tartukepitoisuutta korotettiin 0,6%:iin.

Koeteillä käytetyistä sideaineista otettuja näytteitä tutkivat Neste Oy, VTT/TGL ja tielaitoksen geopalvelukeskus. Emulsioiden analyysitulokset on esitetty seuraavissa taulukoissa 23-24.

Taulukot 23-24. Koeteillä käytettyjen emulsioiden analyysitulokset

| | Lammin- kangas | Pirttikoski | Kotakan- gas I | Kotakan- gas II | Sorveus |
|---|-------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|
| Viskositeetti 50 °C (mm ² /s) | 75 | 75 | 87 | 77 | 118 |
| Haihdutusjäännös (p-%) | 65,1 | 67 | 66,3 | 67,1 | 68,3 |
| Seulontajäännös (p-%) | 0,0 | 0,03 | 0,0 | 0,0 | 0,02 |
| ASTM-murtuvuus (p-%) | 58 | 92 | 91 | 88 | 86 |
| pH | 2,6 | 2,8 | 1,8 | 2,4 | 2,4 |

| | Siera- vaara | Pyhtää | Yläne / BE 1500 | Yläne / BE 3000 | Yläne / BE 6000 |
|---|-----------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Viskositeetti 50 °C (mm ² /s) | 95 | 132 | 114 | 88 | 66 |
| Haihdutusjäännös (p-%) | 69 | 62,2 | 66,3 | 66,1 | 65,6 |
| Seulontajäännös (p-%) | | 0,03 | 0,0 | 0,03 | 0,0 |
| ASTM-murtuvuus (p-%) | 20 | 44,5 | 35 | 81 | 63 |
| pH | | | 1,9 | 2,5 | 2,4 |

ASTM-murtuvuuden korkeat arvot muutamissa kohteissa osoittavat, että kyseessä on hyvin nopeasti murtuva emulsio. Tällaisen emulsion käyttö on mahdollista, koska emulgointi tehdään kentällä eikä emulsiolta edellytetä varastointikestävyyttä. Nesteen Naantalissa valmistaman ja kentällä emulgoitujen bitumiemulsioiden viskositeettiero johtuu emulgoidun bitumin pisaroiden kokoerosta.

Emulsio valmistetaan emulgoimalla bitumi (BE 1500, BE 3000, BE 6000) veteen. Jokaisella koneasemapaikalla valmistettiin ensin koemassa. Koemassan perusteella valittiin amiini- ja suolahappopitoisuudet. Emulsioveden lämpötila on n. 50 °C, bitumin n. 110...120 °C ja valmiin emulsion n. 80 °C. Emulsion pH-arvo on 2...2,5 ja se säädetään suolahapon avulla.

13. Kustannusvertailu

Koska kyseessä oli koeohjelma, on tarkkoja massan valmistuskustannuksia vaikea laskea. Kustannuksia lisäsivät koneaseman pitkät siirtoetäisyydet, kohteiden pienuus ja uuden menetelmän kehittelystä johtunut lisätyö.

Materiaalikustannukset

Öljysoran ja emulsiomassan sideaineiden yksikkökustannuksia on vertailtu seuraavassa laskelmassa. Vertailun perustana on käytetty kauden -92 hintoja ja toteutunutta keskimääräistä kuljetusetäisyyttä 380 km. Lämmityksestä aiheutuvia kustannuksia ei laskelmissa ole otettu huomioon, koska ne ovat molemmille massoille yhtä suuria.

| BÖ 2: | lämmin massa, tartuketta 1,0% | kylmä massa, tartuketta 1,3% |
|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| hinta vapaasti Naantalissa | 86,50 p/kg | 90,0 p/kg |
| rahtikustannus | 13,00 p/kg | 13,0 p/kg |
| | ----- | ----- |
| yhteensä | 99,50 p/kg = 995 mk/t | 103,0 p/kg = 1030 mk/t |

BE 3000, tartuketta 0,6%:

| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| B 3000, hinta vapaasti Naantalissa | 66,00 p/kg |
| rahtikustannus | 13,00 p/kg |
| tartuke 0,6% | 6,60 p/kg |
| suolahappo 0,3% | 1,90 p/kg |
| edellisten rahdit | 4,50 p/kg |
| emulsiovesi rahteineen (20 km) | 2,00 p/kg |
| veden lämmitys | 0,10 p/kg |
| | ----- |
| yhteensä | 94,10 p/kg = 941 mk/t |

Emulsion yksikköhinta on laskettu emulsiolle, jossa on emulgoituna 1 kg sideainetta.

Pääomakustannukset

Tavallisen öljysora-aseman lisäksi emulsiosoran valmistuksessa tarvitaan emulgointilaite, mikäli sideaine halutaan valmistaa kentällä. Seuraavassa on laskettu emulgointilaitteesta aiheutuva pääomakustannusten lisä.

Emulgointilaitteen liikevaihtoverollinen hankintahinta on n. 1 700 000 mk. Laitteiston laskennalliseksi käyttöiäksi oletetaan kahdeksan vuotta, laskentakoroksi 12%, poistot tehdään vuosittaisina tasapoistoina ja laitteistolla ei oleteta olevan jäännösarvoa. Massaa oletetaan valmistettavan 80 000 tonnia vuodessa. Inflaatiota ei huomioida.

Taulukko 25. Emulgointilaitteen pääomakustannukset

| Käyttöv. | Jäännösarvo | Poisto | Korkokust. | Vuotuinen pääomakust. |
|----------|-------------|-----------|------------|--------------------------|
| 1 | 1,487,500 | 212,500 | 178,500 | 391,000 |
| 2 | 1,275,000 | 212,500 | 153,000 | 365,500 |
| 3 | 1,062,500 | 212,500 | 127,500 | 340,000 |
| 4 | 850,000 | 212,500 | 102,000 | 314,500 |
| 5 | 637,500 | 212,500 | 76,500 | 289,000 |
| 6 | 425,000 | 212,500 | 51,000 | 263,500 |
| 7 | 212,500 | 212,500 | 25,500 | 238,000 |
| 8 | 0 | 212,500 | 0 | 212,500 |
| | | 1,700,000 | 714,000 | 2,414,000 |

Käytetyillä oletuksilla emulgointilaitteistosta aiheutuva pääomakustannus on 3,77 mk/t.

Lisäksi pääomakustannuksissa on otettava huomioon laitteiston ylläpitokustannukset, joita ovat huolto ja korjauskustannukset. Jos vuotuisiksi ylläpitokustannuksiksi oletetaan 5 000 mk, aiheutuu niistä 0,062 mk/t lisäkustannus.

Edellä esitetty vertailu osoittaa emulsiosoran olevan hinnaltaan kilpailukykyinen öljysoran kanssa. Sen yksikköhinta pääomakustannukset mukaan lukien on öljysoran yksikköhintaa alhaisempi. Varsinaista säästöä emulsiotekniikasta on silloin, kun se mahdollistaa sideainepitoisuuden pienentämisen. Suhteitettaessa perinteistä öljysoraa käytetään sideainepitoisuuden ohjearvona usein 3,4%, josta liuottimien haihduttua päällysteeseen jää sideainetta n. 3,05%. Bitumiemulsiota käytettäessä riittäisi 0,2% alhaisempi sideainepitoisuus kuin öljysoralla. Sideainepitoisuuden lasku 0,2% säästää materiaalikustannuksissa 10,9%.

14. Jatkoseuranta

Kaikkien kesällä -92 rakennettujen koeteiden kunto oli syksyllä -92 hyvä. Teiden kuntoa ja vaurioitumista on tarkoitus seurata seuraavan vuoden aikana seuraavasti:

- Vauriokartoitus tehdään kesällä -93 ja uudelleen syksyllä .
- Koeteiltä otetaan keväällä -93 massanäytteet, jotka lähetetään Neste Oy:lle. Näytteistä tutkitaan sideaineen viskositeetti.
- Tasaisuusmittaukset tehdään kesällä -93 uramittausautolla tai oikolaudalla.

Piirit huolehtivat jatkoseurannasta. On toivottavaa, että vuodeksi -93 suunnitellun ohjelman kaltaista seurantaa voitaisiin tehdä jatkossakin muutaman vuoden ajan.

15. Koetiekokemusten yhteenveto

Tutkimusten tavoitteena oli kahden erilaisen emulsiomassan kehittäminen. Käytettyjen emulsioiden bitumipohjan viskositeetit valittiin siten, että niistä valmistettujen massojen toivottiin vastaavan ominaisuuksiltaan ÖS:a ja KAB:a.

Ennen koeteiden rakentamista tehtiin laboratoriossa suhteitus- ja sekoitus-tutkimuksia. Sekoitustutkimuksissa ilmeni, että kiviaineksen korkea humuspitoisuus heikentää sen käyttömahdollisuuksia emulsiokiviaineksena. Koetiekiviaineksista saatujen kokemusten perusteella kiviaineksen korkein sallittu humuspitoisuusluokka on 2. Silloinkin on oletettavaa, että hieno-aines pyrkii irtoamaan levityksen ja tiivistyksen jälkeen. Mikäli kiviaineksen humuspitoisuusluokka on korkeampi kuin kaksi, on laboratoriossa tehtävä ennakkokokeita.

Oikean suhteituksen löytämiseksi laboratoriossa valmistettiin koekappaleita eri sideaine- ja vesipitoisuuksilla. Sideainepitoisuus vaihteli 3,3%...3,6% ja vesipitoisuus 2%...3% välillä. Kappaleista mitattiin tilavuussuhdetiedot ja halkaisuvetolujuudet. Sideainepitoisuuden kasvu nosti kappaleitten halkaisuvetolujuuksia kaikilla tutkituilla kiviaineksilla. Vesipitoisuus ei vaikuttanut lujuuksiin yhtä selkeästi. Kokeet osoittivat, että massan sekoittumisen kannalta on tärkeää, että kiviaines on kosteaa. Tutkitulla vesipitoisuuden alueella 2%...3% kaikki massat sekoittuivat tasalaatuisiksi.

Emulsiomassat, joiden sideaineina oli BE 3000, on mahdollista sekoittaa kylminä öljysoran tapaan, joskin lämmittäminen paransi massan ominaisuuksia. Kylmänäkin sekoitetut päällystemassat olivat homogeenisia ja päällysteenä kohtuullisen tasaisia. Huomattavaa oli niiden vaalea väri. Lämmitys paransi peittoasteita ja päällysteen pinnan tasaisuutta. Öljysoraan verrattuna massat olivat paremmin työstettäviä. Niiden alkustabiliteetti oli korkea, eikä tuoreista päällysteistä juuri irronnut kiviä. Pahimpana puutteena oli stabiliteetin nopeasta kasvusta johtuen massojen soveltumattomuus paikkausmassaksi. Varastokasat kovettuivat muutamassa päivässä ainakin pinnastaan. Massojen käyttökelpoisuus selviää lopullisesti keväällä -93, kun kasojen levittämistä tielle kokeillaan. Emulsiomassoilla, joiden sideaineena oli BE 3000, oli siis sekä öljysoran että kevytasfalttibetonin ominaisuuksia.

Kevytasfalttibetonin korvikkeeksi ajateltua BE 6000-emulsiota päästiin kokeilemaan ainoastaan yhdessä kohteessa. Massan sekoittaminen ei onnistunut kylmänä. Suurimmat kiviainesrakeet jäivät paljaksi ja hienoaines

muodosti yhdessä sideaineen kanssa suuria paakkuja. Lämpimänä sekoitettu EKAB oli homogeenista massaa, jonka ominaisuudet tiellä olivat KAB:n tapaiset. Emulsioille ominainen lujuuden nopea kehittyminen erotti sen kuitenkin tavallisesta KAB:sta.

Saatujen kokemusten perusteella eniten öljysoran kaltaista oli emulsiomassa, jonka sideaineena oli BE 1500. Pehmeämpi sideaine mahdollistaa alhaisempien sideainepitoisuuksien käyttämisen ja massa soveltuu paremmin myös varastokasaan tehtäväksi. Nähtäväksi jää, saavuttaako tämä emulsiosora riittävän loppulujuuden.

Emulsiosoran tekeminen varastokasaan osoittautui nopean stabiliteetin kehittymisen takia ongelmalliseksi. Keväällä selviää, ovatko varastokasat säilyneet levityskelpoisina. Paikkausmassojen valmistukseen on kokemuksen perusteella syytä kokeilla emulsioita, joiden pohjana on mahdollisimman pehmeä bitumi. Mikäli emulsiomassat eivät säily varastokasassa, on paikkaukseen jatkossakin käytettävä öljysoraa.

Koemassoille tehtiin laboratoriossa stabiliteettitutkimuksia. Niissä tuli selkeästi ilmi emulsiosoran korkeampi alkustabiliteetti ja nopea lujuuden kehittyminen öljysoraan verrattuna. Totutusta poikkeava stabiliteetin kehittyminen edellyttää emulsiosoran lopullisen lujuuden tarkempaa selvittämistä, jotta voitaisiin arvioida emulsiosorapäällysteen pitkäaikaista kestävyyttä.

Koeohjelman aikana saatujen kokemusten perusteella yhtenä tärkeänä seikkana emulsiopäällysteen onnistumisen kannalta voidaan pitää emulsion koostumuksen säätömahdollisuutta koneasemalla. Emulsion ominaisuuksia säädeltiin, kun

- kiviaines vaihtui
- massan kuljetusmatka muuttui

Muita muutostilanteita, joissa emulsion säätömahdollisuudesta voi olla hyötyä, ovat

- kiviaineksen vesipitoisuuden vaihtuminen
- ympäristö- ja sääolojen muutokset

Emulsiopäällyste kesti odotettua paremmin vesisateet. Emulsio oli jo sekoittimesta tullessaan murtunut siinä määrin, että sideaine ei huuhtoutunut missään vaiheessa sadeveden mukana.

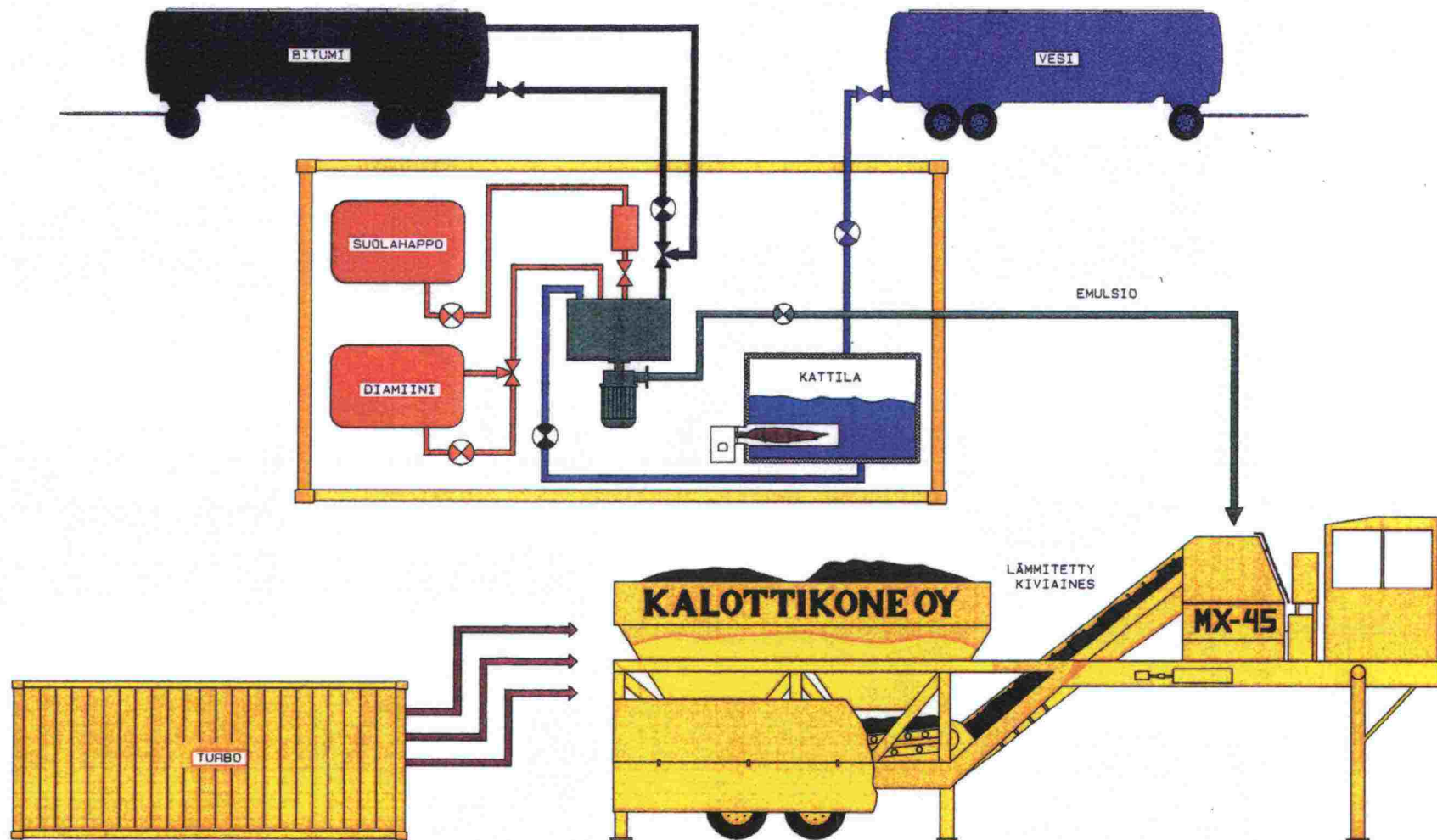
Lämmin emulsiosoramassa liukui kuorma-auton lavalta tasaisesti levittimen suppiloon, eikä massa tässä työvaiheessa lajitu. Kylmänä sekoitettu emulsiomassa sen sijaan oli huomattavasti työstettävää. Öljysoran levitys- ja

tiivistyskaluston todettiin soveltuvan hyvin myös emulsiomassoilla päällystettäessä. Massan lujuuden nopean kasvun vuoksi tiivistäminen pitää tehdä heti levityksen jälkeen ja päällyste tarvitsee öljysoraa enemmän tiivistystä.

Emulsiosora on ympäristöystävällinen vaihtoehto vähäliikenteisille teille. Se ei sisällä haihtuvia liuottimia eikä massaa tarvitse valmistaa kuumana. Bitumiemulsio on palamaton ja terveydelle vaaraton aine, eikä se aiheuta työturvallisuudelle riskejä. Sideaineen emulgointi kentällä edellyttää emulgointilaitteiston liittämistä sekoitusaseman yhteyteen. Öljysoraan verrattuna sideaineen materiaalikustannukset jäävät emulsiosoralla kuitenkin hieman alhaisemmiksi. Paitsi ympäristö- myös taloudellisuustarkastelujen perusteella emulsiosoraa voidaan pitää tulevaisuuden kevytpäällysteenä.

EMULSIO-MASSAN VALMISTUS

PROSESSIKAAVIO



KALOTTIKONE OY

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 40/1992 Hirvieläinonnettomuudet yleisillä teillä 1991. TIEL 3201921-92
- 41/1992 Liikenteen ja muiden toimintojen turvallisuuden vertailu 1988-1990.
TIEL 3200094
- 42/1992 Pääväylät kaupunkialueilla; tasoliittymät. TIEL 3200095
- 43/1992 Reittiohjaus Lahdentiellä, esiselvitys. TIEL 3200096
- 44/1992 Seurannan sisällyttäminen tiehankkeisiin -luonnonolot. TIEL 3200097
- 45/1992 Liikennevalojen kunnossapitotutkimus. TIEL 3200098
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 47/1992 Kestopäällysteteiden kunnon piilorakennemalli. TIEL 3200100
- 48/1992 Tiehankkeiden sosioekonomisten vaikutusten arviointi, arviointimenettelyn
selvitys. TIEL 3200101
- 49/1992 Pääväylät kaupunkialueilla; Poikkileikkaus. TIEL 3200102
- 50/1992 Tiemerkintämassojen käyttökelpoisuus. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 51/1992 Roadside Restareas and Restarea Structures and Equipment. TIEL 3200041E
- 52/1992 Kuntien liikenneturvallisuus vuosina 1982-1990. TIEL 3200103
- 53/1992 Henkilöautojen omistus, ajoneuvosuuritteet ja käyttöalueet. TIEL 3200104
- 54/1992 Selvitys liikennevalojen toiminnasta vähäisen liikenteen aikana. TIEL 3200105
- 55/1992 Kiertoliittymän liikenteelliset vaikutukset; ennen-jälkeen -tutkimus Lammin
maantieliitymässä. TIEL 3200106
- 56/1992 Kaupunkimuotoilun historia, nykyaikaisen tie- ja liikennesuunnittelun
historiallinen tausta. TIEL 3200107
- 57/1992 Teiden suolauksen aiheuttamien ympäristövahinkojen korvaaminen.
Kymen tiepiiri
- 58/1992 Teknologian siirto; Bauma 1992 -messut. TIEL 3200108
- 59/1992 Reunapaalujen vaikutus ajokäyttäytymiseen ja liikenneonnettomuuksiin.
TIEL 3200109
- 60/1992 Rautasaostuman aiheuttama salaojan tukkeutuminen ja toimenpiteet
tukkeutumisen estämiseksi. TIEL 3200110
- 61/1992 Liityntäliikenteen mallit. TIEL 3200111
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen.
TIEL 3200113
- 33/1992 Tulevaisuuden ennustamista vai tulevaisuuden tekemistä? Ympäristö-
ongelmien haasteet tielaitoksen tulevaisuudentutkimukselle liikenne- ja
ympäristöpolitiikan näkökulmasta. TIEL 3200113

ISBN 951-47-6638-5
ISSN 0788-3722
TIEL 3200114